

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Trubkový řetězový dopravník v aplikaci na dopravu  
biohmoty

Pipe Conveyor in the Application of Biomass  
Transport

Student:

Bc. Přemysl Hofírek

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Ostrava 2013

## Zadání diplomové práce

Student:	<b>Bc. Přemysl Hofírek</b>
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace:	35 Dopravní stroje a manipulace s materiálem
Téma:	Trubkový řetězový dopravník v aplikaci na dopravu biohmoty  Pipe Conveyor in Application with Biomass Transport

Zásady pro vypracování:

Navrhněte trubkový dopravník se všemi potřebnými technologickými zařízeními a bezpečnostním vybavením k dopravě biohmoty z krátkého vodorovného úseku do výšky 8m.

1. Úvod – rešeršní část, všeobecně trubkové dopravníky s aplikací Schrage
2. Teoretické východisko – problematika změn mechanicko-fyzikálních vlastností biohmot, měření mechanicko-fyzikálních veličin
3. Analýza a bilance odporových sil a prací u trubkového dopravníku, plnění a vyprazdňování stanice
4. Návrh zařízení s potřebnými výpočty
5. Technická zpráva a bezpečnostní doporučení
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Pešat, Z.: Manipulace s materiálem v hutích I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1992.

Cvekl, Zl., Janovský, L., Podivínský, C., Talácko, J.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení. Praha: ČVUT Praha, 1984.

Dražan, F., Jeřábek, K.: Manipulace s materiálem. Praha: SNTL/ALFA, 1979.

Dražan, F., Cvekl, Z. a kol. : Teoretické základy transportních zařízení. Praha: SNTL/ALFA, 1976

Novotný, J., Podivínský, V.: Podklady pro konstrukční cvičení z transportních zařízení. Praha: ČVUT Praha, 1974.

Firemní literatura a příslušné normy

Zegzulka, J.: Mechanika sypkých hmot, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004, ISBN 80-248-0699-1

Zegzulka, J.: Mechanika partikulárních hmot, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, v tisku

Zegzulka, J.: Standard smykové zkoušky partikulárních hmot. Working Party on the Mechanics of Particulate Solids, European Federation of Chemical Engineering, 2006, ISBN 80-248-1051-4

Přednášky z předmětu Dopravníky – prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

---

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
*vedoucí katedry*

---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
*děkan fakulty*

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě.....

.....

Plné jméno diplomanta

Adresa trvalého pobytu diplomanta:

Přemysl Hofírek

1. máje 212

696 03 Dubňany

# **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Hofírek P.: Trubkový řetězový dopravník v aplikaci na dopravu biohmoty.

Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB-Technická universita Ostrava, 2013, 50 s.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

64 stran, rozsah grafických prací 3 A0, 1 A3.

Diplomová práce je zaměřena na problematiku dopravy biohmoty za pomoci trubkového řetězového dopravníku. Zpočátku se práce soustředí na jednotlivé firmy, (hlavně firmu Schrage z jejíž produktu práce vychází), které se zabývají tímto druhem dopravníku a na samotnou biohmotu, konkrétně odpadní kaly vyskytující se v čistírnách odpadních vod. Následuje stanovení konstrukční řešení trasy včetně popisu řešení a také jednotlivých částí dopravníku. Dále zde nalezneme potřebné pevnostní a technologické výpočty dopravníku na který je zaměřena i přiložená výsledná výkresová dokumentace ve které je jak samotný dopravník tak některé jeho části.

## **ABSTRACT OF THESIS**

Hofírek P.: Pipe Conveyor in the Application of Biomass Transport. Department of Institut of Transport, Fakulty of Mechanical Engineering VŠB-Technical Univerzity of Ostrava 2013

Thesis, Head prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

64 pages, grapfs 3 A0, 1 A3.

This thesis is focused on the issue of transport organic matter through the tubular chain conveyor. Initially, the work focuses on individual companies (mainly the company Schrage from which product this thesis is based on), which deal with this type of conveyor and the organic matter itself, namely sewage sludge occurring in wastewater treatment plants. The determination of design is followed by solutions including a description of the route as well as the individual parts of the conveyor. Furthermore, you will find the necessary strength and technological calculations of the conveyor, which includes the attached final drawing in which there are both the conveyor itself and some of its parts.

**Obsah diplomové práce**

<b>Seznam použitého značení .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Úvod.....</b>	<b>12</b>
1.1 Doprava a manipulace s materiálem .....	12
1.2 Obecně o trubko-řetězovém dopravníku .....	12
<b>2 Dopravník Schrage.....</b>	<b>15</b>
2.1 Informace o firmě Schrage Rohrkettensystem GmbH .....	15
2.2 Možnosti využití a výhody dopravníků Schrage.....	15
2.3 Hlavní části dopravníků Schrage.....	16
2.4 Rozdělení dopravníků .....	16
<b>3 Dopravníky od jiných firem .....</b>	<b>28</b>
3.1 Firma Hapman.....	28
3.2 Firma Horstkötter .....	31
3.3 Firma Spiroflow Systems Inc. ....	33
<b>4. Dopravovaný materiál - biohmota.....</b>	<b>36</b>
4.1 Historie dopravy kalů .....	36
4.2 Technologie zpracování kalů.....	36
<b>5. Konstrukční řešení trubko-řetězového dopravníku.....</b>	<b>41</b>
5.1 Popis řešení .....	41
<b>6. Pevnostní a technologické výpočty.....</b>	<b>42</b>
6.1 Hodnoty pro které je dopravník navrhován.....	42
6.2 Výpočet poháněcí stanice a kontrola tažného řetězu.....	51
6.3 Výpočet napínací pružiny.....	54
6.4 Kontrola hřídele poháněcí stanice .....	55
6.5 Kontrola hřídele napínací stanice .....	58
6.6 Technická zpráva a bezpečnostní doporučení .....	60

<b>7. Závěr.....</b>	<b>61</b>
<b>8. Seznam použitých pramenů .....</b>	<b>62</b>
<b>9. Přílohy .....</b>	<b>63</b>



**Seznam použitých symbolů a zkratek**

$a$	příčná rozteč oka řetězu	[mm]
$b$	šířka drážky	[mm]
$D_{1p}$	vnější průměr pružiny	[mm]
$D_k$	průměr roztečné kružnice poháněcího kola	[mm]
$D_{nap}$	průměr hřídele napínací stanice	[mm]
$D_{nap1}$	průměr hřídele napínací stanice bez pera	[mm]
$D_{poh}$	průměr hřídele poháněcí stanice	[mm]
$D_{poh1}$	průměr hřídele poháněcí stanice bez pera	[mm]
$d$	tloušťka drátu řetězu	[mm]
$d_p$	průměr drátu pružiny	[mm]
$d_{tr}$	vnější průměr trubky	[m]
$d_{trv}$	vnitřní průměr trubky	[m]
$d_{un}$	průměr unášeče	[m]
$F$	obvodová síla hnacího kola	[N]
$F_0$	síla působící v bodě 0	[N]
$F_{DS}$	dynamická síla v řetězu	[N]
$F_{lom}$	síla na přetržení řetězu	[N]
$F_m$	síla od váhy hřídele a ozubeného kola	[N]
$F_{mpoh}$	síla od tíhy pohonu	[N]
$F_{nap}$	napínací síla	[N]
$F_{pnab}$	nabíhající síla	[N]
$F_{podb}$	odbíhající síla	[N]
$F_{\tilde{r}}$	tažná síla v řetězu	[N]
$F_{\tilde{r}celk}$	celková síla působící na řetěz	[N]
$F_{\tilde{r}dov}$	dovolení zatížení řetězu	[N]
$F_{\tilde{r}max}$	síla potřebná pro přetržení řetězu	[N]
$G_p$	modul pružnosti ve smyku	[MPa]
$g$	tíhové zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$i_p$	převodový poměr u převodovky	[-]
$i_v$	poměr vinutí pružiny	[-]
$K_{1,2,3,...}$	odpory proti pohybu	[N]
$k$	součinitel sypnosti	[-]

$k_b$	koeficient bezpečnosti	[-]
$k_i$	součinitel počtu zubů	[-]
$k_r$	smyková bezpečnost	[-]
$k_\sigma$	ohybová bezpečnost	[-]
$L_{0-1, 1-2...}$	vzdálenost jednotlivých úseků dopravníku	[m]
$L_d$	délka dopravníku	[m]
$L_{nap1}$	délka hřídele mezi ložisky napínací stanice	[mm]
$L_{pl}$	délka plné části dopravníku	[m]
$L_{poh1}$	délka hřídele mezi ložisky poháněcí stanice	[mm]
$L_{poh2}$	délka hřídele mezi ložisky napínací stanice	[mm]
$L_{pr}$	délka prázdní části dopravníku	[m]
$l_0$	délka pružiny v nezátíženém stavu	[mm]
$l_{min}$	minimální délka pružiny	[mm]
$M_{2dov}$	maximální moment převodovky	[N.m]
$M_k$	kroutící moment na hřídeli	[N.m]
$M_{kred}$	redukovaný moment	[N.m]
$M_n$	nominální moment elektromotoru	[N.m]
$M_{omax1}$	max. ohybový moment na hřídeli poh. stanice	[N.m]
$M_{omax2}$	max. ohybový moment na hřídeli nap. stanice	[N.m]
$M_{ox}$	ohyb. moment v kritickém průřezu ve směru x	[N.m]
$M_{oy}$	ohyb. moment v kritickém průřezu ve směru y	[N.m]
$m_k$	hmotnost ozubeného kola	[kg]
$m_L$	hmotnost řetězu i materiálu na dopravníku	[kg]
$m_m$	hmotnost dopravovaného materiálu na délce 1m	[kg]
$m_{poh}$	hmotnost hřídele poháněcí stanice	[kg]
$m_{poh1}$	hmotnost pohonu	[kg]
$m_{\dot{r}}$	hmotnost 1m řetězu i s unášeci	[kg]
$N$	životnost převodovky	[hod]
$n$	otáčky poháněcího kola	[min <sup>-1</sup> ]
$n_2$	vstupní otáčky převodovky	[min <sup>-1</sup> ]
$n_m$	jmenovité otáčky elektromotoru	[min <sup>-1</sup> ]
$n_{pr}$	počet závitů pružiny	[-]
$P$	požadovaný výkon dopravníku	[kW]
$P_n$	jmenovitý výkon elektromotoru	[kW]

$Q$	požadované dopravní množství	$[\text{t.hod}^{-1}]$
$Q_1$	skutečné dopravní množství	$[\text{t.hod}^{-1}]$
$R$	zaoblení drážky	$[\text{mm}]$
$R_{1; 2}$	poloměry trubek daných úseků	$[\text{m}]$
$R_{ax}$	reakce ve směru osy x v bodě A	$[\text{N}]$
$R_{ay}$	reakce ve směru osy y v bodě A	$[\text{N}]$
$R_{bx}$	reakce ve směru osy x v bodě B	$[\text{N}]$
$R_{by}$	reakce ve směru osy y v bodě b	$[\text{N}]$
$R_m$	mez pevnosti	$[\text{MPa}]$
$s$	šířka mezery mezi trubkou a unášечem	$[\text{m}]$
$s_p$	pracovní stlačení pružiny	$[\text{mm}]$
$T_{1, 2, 3...}$	tahy v jednotlivých bodech	$[\text{N}]$
$t$	podélná rozteč oka řetězu	$[\text{mm}]$
$t_{roz}$	doba rozběhu dopravníku	$[\text{s}]$
$U_{0-1, 1-2...}$	označení jednotlivých úseků dopravníku	$[-]$
$V_{\dot{r}}$	objem 1 m řetězu s unášечi	$[\text{m}^3]$
$V_{teor}$	teoretický objem dopravovaného materiálu	$[\text{m}^3]$
$V_{tr}$	objem 1 m trubky	$[\text{m}^3]$
$v$	rychlost řetězu	$[\text{m.s}^{-1}]$
$z$	počet zubů řetězového kola	$[-]$
$\alpha$	úhel sklonu ohybu	$[\text{°}]$
$\beta_{r1}$	vrubový součinitel	$[-]$
$\gamma$	pomocný úhel řetězového kola	$[\text{rad}]$
$\varphi_e$	úhel vnitřního tření	$[\text{°}]$
$\varphi_v$	úhel vnějšího tření	$[\text{°}]$
$\eta$	celková účinnost poháněcí stanice	$[-]$
$\eta_i$	stupeň proudění materiálu	$[-]$
$\eta_m$	součinitel účinnosti motoru	$[-]$
$\eta_p$	součinitel vlivu jakosti povrchu	$[-]$
$\eta_{p1}$	součinitel účinnosti převodovky	$[-]$
$\eta_{poh}$	součinitel účinnosti pohonu	$[-]$
$\eta_s$	součinitel účinnosti spojky	$[-]$
$\eta_v$	stupeň nedostatečného plnění materiálu	$[-]$
$\mu_k$	součinitel tření mezi trubkou a unášечem	$[-]$

$\mu_t$	součinitel ohybu řetězu a tření ložisek	[-]
$\mu_v$	součinitel tření mezi trubkou a materiálem	[-]
$\nu_\sigma$	součinitel vlivu velikosti součásti	[-]
$\pi$	matematická konstanta	[-]
$\rho$	měrná hmotnost materiálu	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho_c$	mez únavy materiálu v ohybu	[MPa]
$\rho_{c,s}$	mez únavy materiálu	[MPa]
$\rho_{o1}$	ohybové napětí na hřídeli poháněcí stanice	[MPa]
$\rho_{o2}$	ohybové napětí na hřídeli napínací stanice	[MPa]
$\rho_{red}$	redukované napětí na hřídeli poháněcí stanice	[MPa]
$\sigma_{\sigma 2}$	max, ohybové napětí na hřídeli poháněcí stanice	[MPa]
$\tau_{dov}$	dovolené napětí v krutu	[MPa]
$\tau_{k1}$	tečné napětí v krutu při plně zatížené pružině	[MPa]
$\tau_p$	napětí v krutu při plně zatížené pružině	[MPa]
$\nu_\sigma$	součinitel vlivu velikosti součásti	[-]
$\psi$	konečný úhel ohybu	[°]
$\psi_0$	počáteční úhel ohybu	[°]

# 1. Úvod

## 1.1 Doprava a manipulace s materiálem

Doprava materiálu ve strojírenství a ne jen v něm má široké zastoupení a je hojně využívána. Není místo kde by jsme se s ní nesetkali ať už je to na veřejnosti či v podnicích.

Do dopravy materiálu spadají všechny operace které se jí dotýkají což jsou např.: nakládka, vykládka, vážení, balení, paletizace a další. Materiálem který přepravujeme může být cokoli od sypkých hmot, přes kapaliny až po velké kusy (např. odlitky). Dopravní zařízení prochází neustálou modernizací která vede ke zlepšení dopravy, snížení provozních nákladů a ke zvýšení produktivity.

Velkou část dopravovaných materiálů tvoří sypké hmoty. Mezi nejběžnější dopravní zařízení pro jejich dopravu patří dopravníky, jenž se vyznačují velkou produktivitou a kontinuitou dopravy. V současnosti máme velké množství rozdílných typů dopravníků hodících se pro různé způsoby dopravy.

## 1.2 Obecně o trubko-řetězovém dopravníku

### Počátky trubko-řetězového dopravníku

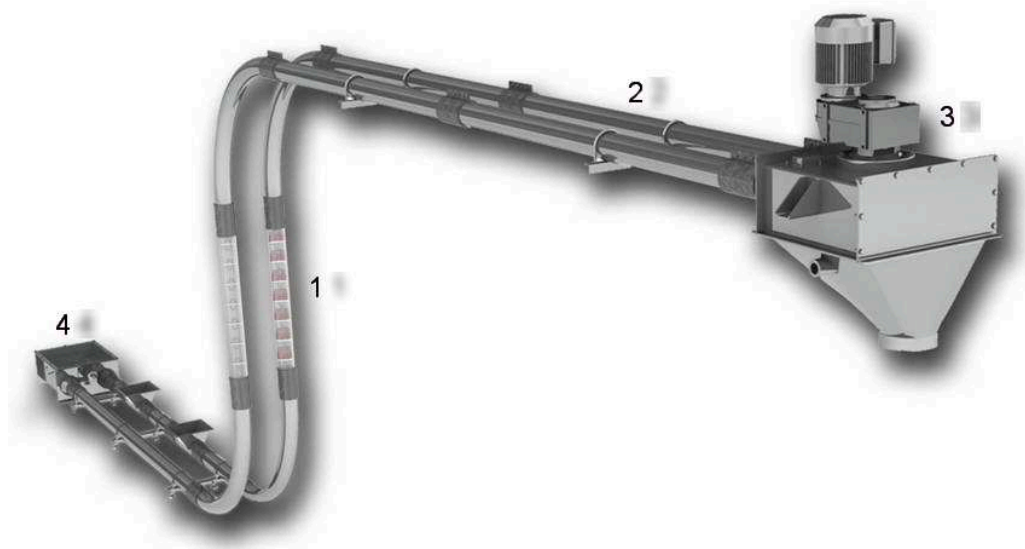
Počátky využívání podobného druhu dopravy objevujeme již na počátku minulého století. Tažným prvkem v té době bylo lano k kterému byly křížově uchyceny unášeče. Nosným prvkem byly různá provedení dřevěných či plechových žlabů. V průběhu vývoje tohoto druhu dopravy bylo lano nahrazováno řetězem. Pomalý vývoj řetězů zapříčinil že až do sedmdesátých let bylo použití trubko-řetězových dopravníků omezené. Vytvářeli se pouze krátké, vodorovné tratě. Po uplynutí let sedmdesátých se vývojem a výrobou začala zabývat firma Schrage, která tyto dopravníky dostala až do dnešní podoby.

## Popis trubko-řetězového dopravníku

Jako tažný orgán využívá tento typ dopravníku nekonečný řetěz ke kterému jsou připevněny unášedce. Řetěz společně s unášedci se pohybuje v omezeném prostoru, tímto prostorem rozumíme různá provedení žlabů, trubky kruhového nebo obdélníkového průřezu. Materiál je umístěn do mezer které jsou vymezeny vzdáleností mezi jednotlivými unášedci. Na tomto místě je pak tlačén unášedci od místa násypu do místa výsypu. Tato doprava probíhá v několika směrech a to jak horizontálně, vertikálně i šikmo.

## Hlavní části trubko-řetězového dopravníku

1. - Tažný řetěz s unášedci
2. - Nosný prvek, kterým bývá hlavně žlab kruhového nebo obdélníkového průřezu
3. - Poháněcí stanice, často používána jako výsypka
4. - Vratná stanice jenž slouží i jako stanice napínací



Obr. 1: Trubko řetězový dopravník

<http://news.thomasnet.com/>

## Výhody a nevýhody trubko-řetězového dopravníku

### Výhody:

- Jednoduchá konstrukce, nízké provozní náklady a dlouhá životnost.
- Doprava malozrných, prachových (do cca 60 mm) i vláknitých materiálů o libovolné hustotě a teplotě do 200°C.
- Není náročný na obsluhu.
- Jeho konstrukční provedení umožňuje dopravovat materiál v obou větvích i směrech.
- Přísun i odsun materiálu je možné umožnit téměř ve kterémkoli místě dopravníku.
- Trasa dopravníku může být variabilní.
- Vzhledem k uzavřené konstrukci je dopravník šetrný ke svému okolí.
- Při snadné úpravě je tu možnost dopravovat i některé z výbušných materiálů.

### Nevýhody

- Omezená délka dopravníku i dopravované množství materiálu díky pevnosti řetězů. Tyto nevýhody jsou závislé na dopravovaném materiálu a taky tvaru dopravní trasy.
- Dopravník není vhodný pro dopravu velmi abrazivních materiálů díky o poznání většímu opotřebení žlabu, řetězu i unášeců. Také tu působí vyšší tažné síly v řetězu.

S těmito dopravníky se hlavně díky výše uvedeným výhodám setkáme v mnoha odvětvích průmyslu. Příkladně je můžeme najít v průmyslu: hutním, potravinářském, chemickém, ale také v elektrárenství či hornictví.

## 2. Dopravník Schrage

### 2.1 Informace o firmě Schrage Rohrkettensystem GmbH

Firma byla založena 31. července roku 1987 a její činností je plánování, návrh a prodej řetězových dopravníků Schrage. Firma Schrage sídlí v severní části Německa ve Friedeburgu. Firma vlastní 20 patentů na jednotlivé části dopravníku. [4]



Obr. 2: Sídlo firmy Schrage Rohrkettensystem GmbH

<http://www.schrage.de>

### 2.2 Možnosti využití a výhody dopravníků Schrage

- transport granulátu, prášků a kalů
- utěsněný transport prachu, plynu a materiálů pod tlakem
- nízké náklady na údržbu
- transportní vzdálenosti v horizontálním směru do 55 m a ve vertikálním směru do 35 m v případě využití jednoho dopravníku
- velmi dobrá směrovatelnost dopravníku
- nízké opotřebení dopravníku
- malé nároky na prostor



- jednoduchá obsluha
- modulární konstrukce, tím rozumíme: součásti jsou běžné v mnoha odlišných konfiguracích
- odolává tlakové vlně exploze a ohni
- nízká spotřeba energie
- nízké opotřebení produktu zrnitým materiálem
- zásobník je plněn bez segregace
- možno rozběhnout prázdný nebo naplněný produktem
- minimální ucpávání dopravníku
- samočistící systém včetně zařízení pro plnění a vynášení produktu

### **2.3 Hlavní části dopravníků Schrage**

- Poháněcí stanice
- Vratná (napínací) stanice
- Řetězové pásmo s unášeči
- Žlab dopravníku
- Příslušenství

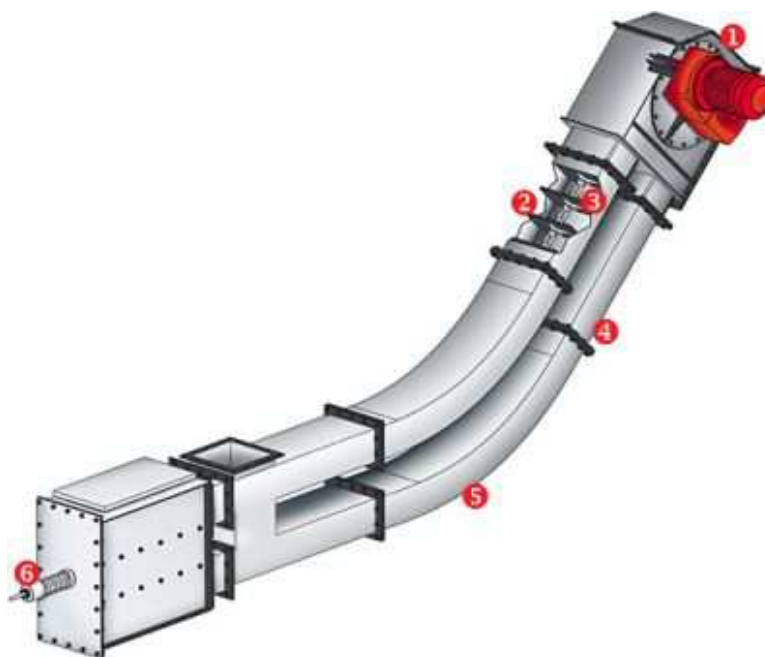
### **2.4 Rozdělení dopravníků Schrage**

Dopravníky Schrage jsou rozděleny do dvou skupin:

- Šachtový řetězový dopravník Schrage
- Trubkový řetězový dopravník Schrage

## Šachtový řetězový dopravník Schrage

Tento typ dopravníku je velice podobný hřeblovému dopravníku. Ovšem umožňuje větší zaoblení tratě, dále konstrukce dopravníku není tak mohutná, nemá tak vysokou hmotnost a má o mnoho nižší energetické nároky než hřeblový dopravník. Na rozdíl od hřeblového se do dolů příliš nehodí.



Obr. 3: Schéma šachtového dopravníku Schrage

<http://www.i-tes.com>

Popis částí dopravníku:

1. Typ pohonu: osově montovaná převodovka (Flach nebo Kegelrad)
2. Transportní kotouče: PU-B, PE-B, PA-B
3. Retěz DIN 762 Ø20x100: MnSi 5, povrch zpevněný na 1-2 mm
4. Materiál pláště: různé třídy oceli: St 37-2 / 1.4301 / 1.4571 / 1.4541 / PE, čedičová nebo keramická vložka
5. Dimenze pohybu: SKF EK 400 R = 1500 mm, SKF DK 800 R = 2000 mm
6. Napínání řetězu: pomocí vřetene s pružinou nebo gravitační napínání

Kapacity šachtových řetězových dopravníků Schrage:

Q (m³/h)	P (kW)	v (m/s)	n² (m/s)	i (n¹ : n²)
Schrage-lehký Typ 115L				
0,45	0,25	0,02	1,3	1022,42
1,00	0,37	0,05	2,9	482,56
2,30	0,75	0,12	7,2	190,69
3,20	1,10	0,17	10,0	141,49
4,70	1,50	0,24	14,0	100,88
7,00	2,20	0,38	22,0	64,12
Typ 160, Typ 200				
1,36	2,13 0,55	0,020	1,0	1334,62
2,70	4,26 0,75	0,040	2,0	700,03
4,50	7,03 1,50	0,070	3,3	427,79
5,70	8,90 2,20	0,090	4,2	331,48
9,50	14,90 2,20	0,150	7,0	202,57
12,50	19,50 4,00	0,200	9,2	153,92
16,40	25,50 4,00	0,260	12,0	117,76
20,50	31,90 5,50	0,320	15,0	91,81
23,20	36,20 5,50	0,360	17,0	82,72
28,70	44,70 7,50	0,450	21,0	68,63
Typ 270				
15,00	3,0	0,09	3,6	393,19
30,00	5,5	0,22	8,3	171,34
45,00	7,5	0,35	13,0	126,87
60,00	11,0	0,42	16,0	92,63

Tab. 1: Kapacity šachtových řetězových dopravníků Schrage

Vysvětlivky k tabulce:

Q - dopravní množství

P - výkon motoru v kW

v - rychlost dopravního pásma (m/s)

## Trubkový řetězový dopravník Schrage

Žlab je u tohoto dopravníku je tvořen trubkou která může mít různé průměry které se určují dle dopravního množství a taky závisí na délce dopravníku. Výhodou je možnost zaplnit žlab ze 100%



Obr. 4: Schéma trubkového řetězového dopravníku Schrage

<http://www.schrage.de>

Popis částí dopravníku:

1. Typ pohonu: osově montovaná převodovka (paralelní osa nebo úhlově šroubovitá)
2. Transportní kotouče: PU-B, PE-B, PA-B atd.
3. Trubkový plášť DIN 2458: vyroben z oceli: ST 37-2 / 1.4301 / 1.4571 / 1.4541 / PE čedičová nebo keramická vložka
4. Trubkový ohyb DIN 2458
5. Příruba DIN 2573 / PN 6
6. Napínání řetězu
  - pomocí vřetene s pružinou (horizontální)
  - vlastní hmotností dopravníku (vertikální)

Kapacity trubkových řetězových dopravníků Schrage:

Q (m³/h)	P (kW)	v (m/s)	n² (m/s)	i (n¹ : n²)
Schrage-lehký Typ 115L				
0,45	0,25	0,02	1,3	1022,42
1,00	0,37	0,05	2,9	482,56
2,30	0,75	0,12	7,2	190,69
3,20	1,10	0,17	10,0	141,49
4,70	1,50	0,24	14,0	100,88
7,00	2,20	0,38	22,0	64,12
Typ 160, Typ 200				
1,36	2,13 0,55	0,020	1,0	1334,62
2,70	4,26 0,75	0,040	2,0	700,03
4,50	7,03 1,50	0,070	3,3	427,79
5,70	8,90 2,20	0,090	4,2	331,48
9,50	14,90 2,20	0,150	7,0	202,57
12,50	19,50 4,00	0,200	9,2	153,92
16,40	25,50 4,00	0,260	12,0	117,76
20,50	31,90 5,50	0,320	15,0	91,81
23,20	36,20 5,50	0,360	17,0	82,72
28,70	44,70 7,50	0,450	21,0	68,63
Typ 270				
15	3,0	0,09	3,6	393,19
30	5,5	0,22	8,3	171,34
45	7,5	0,35	13,0	126,87
60	11,0	0,42	16,0	92,63

Tab. 2: Kapacity trubkových řetězových dopravníků Schrage

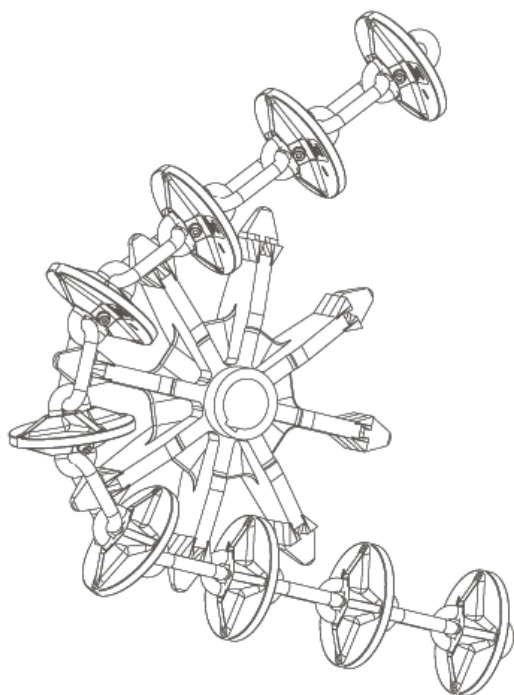
Vysvětlivky k tabulce:

Q - dopravní množství

P - výkon motoru v kW

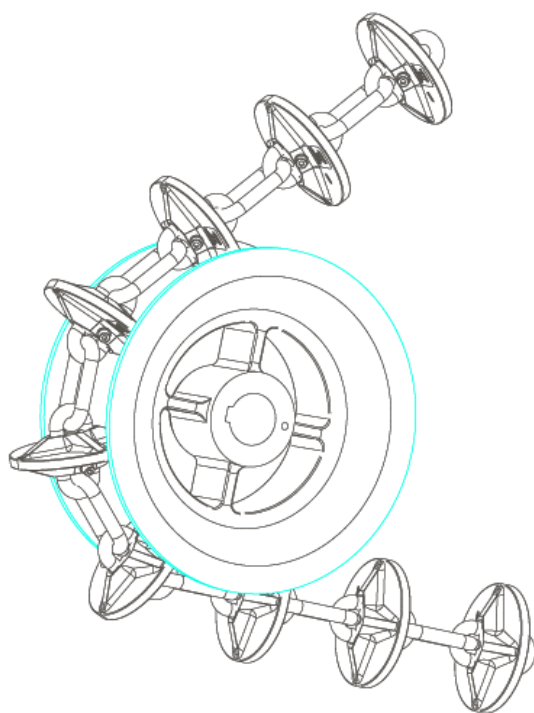
v - rychlost dopravního pásma (m/s)

Používaná kola:



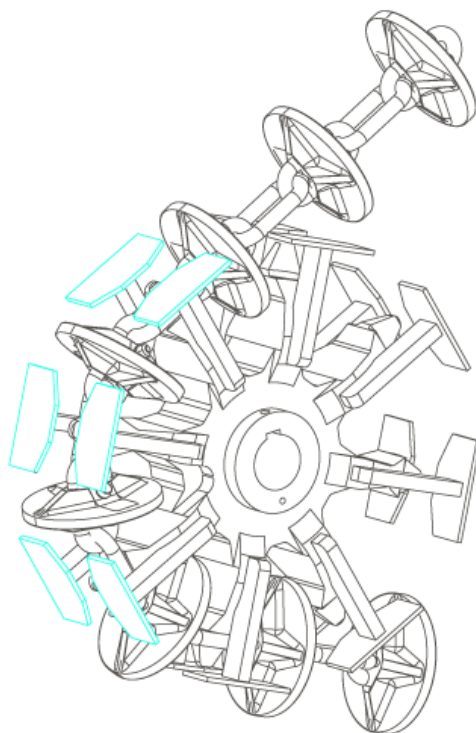
Obr. 5: Poháněcí kolo

<http://www.schrage.de>



Obr. 6: Vodící kolo

<http://www.schrage.de>



Obr. 7: Čistící kolo

<http://www.schrage.de>**Příslušenství:**

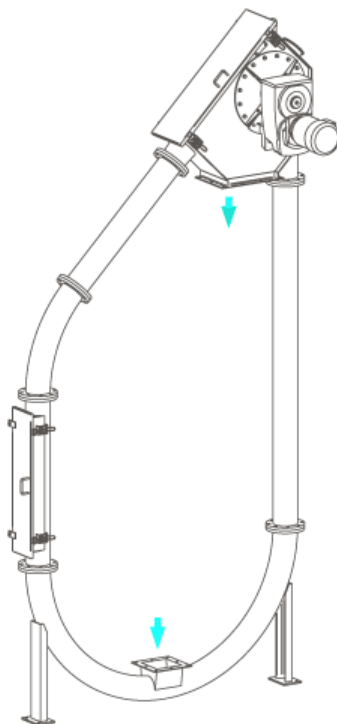
Čistící kartáče, čistící kotouče, vzduchové trysky, skříňový rozvaděč, frekvenční měnič, zařízení pro kontrolu chodu dopravníku, výsypná klapka, drtiče, šnekové dopravníky.

**Ukázky některých uspořádání dopravníku**

Firma Schrage nabízí několik možných variant jak dopravník sestavit. Zde uvedu pár ukázek.

**Provedení I:**

Jedná se o vertikální provedení dopravníku které může dopravovat materiál až do výše 40 m. Dopravní množství dosahuje až 85 m<sup>3</sup>/h dle dopravovaného materiálu.

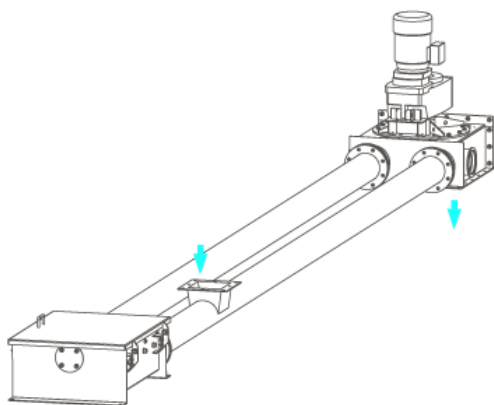


Obr. 8: Provedení I - vertikální

<http://www.schrage.de>

## Provedení II:

Jde o horizontální provedení které nám umožňuje dopravovat materiál až do vzdáleností 60 m při dopravním množství až 85 m<sup>3</sup>/h v závislosti na dopravovaném materiálu.



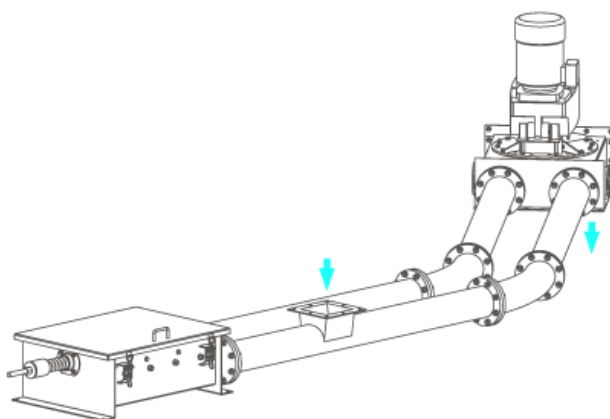
Obr. 9: Provedení II - horizontální

<http://www.schrage.de>



## Provedení III:

Jde o provedení horizontální při kterém je dopravník veden do oblouku a to jak pravého tak levého v závislosti na směru kterým chceme materiál vést.

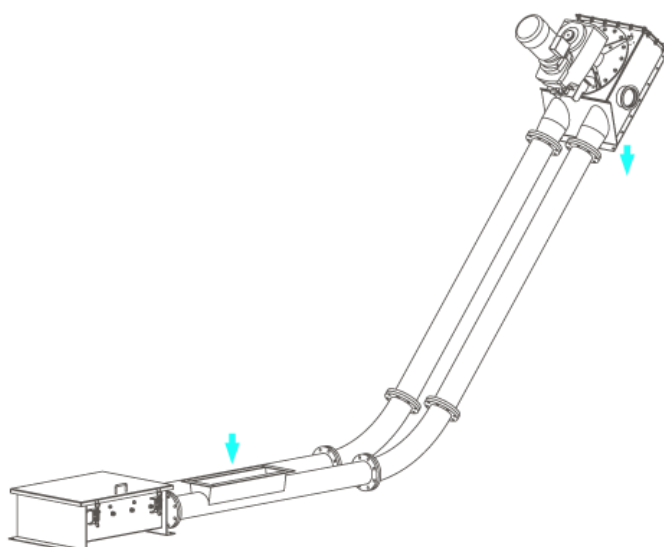


Obr. 10: Provedení III - horizontální se změnou směru

<http://www.schrage.de>

## Provedení IV:

Jedná se o provedení horizontální diagonální, které umožňuje dopravovat materiál pod různými úhly a to jak v odbočení dopravníku doleva, doprava, tak i nahoru a dolů, tedy jde o trojrozměrný úhel.

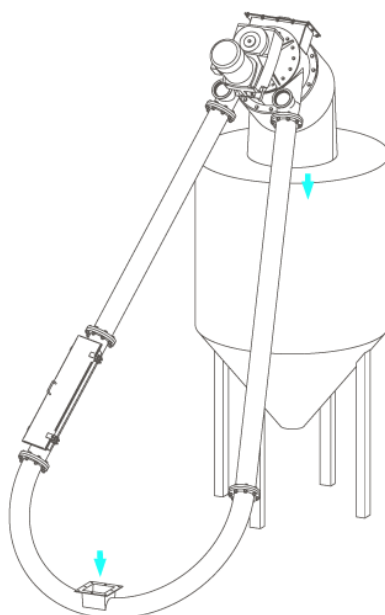


Obr. 11: Provedení IV - horizontální, diagonální

<http://www.schrage.de>

## Provedení V:

Opět provedení diagonální jen s tím rozdílem že úhly jsou v rozmezí od 50° do 70°. Tohle uspořádání je určeno pro dopravu materiálu u malých sil kde nám umožňuje co nejkratší dopravní cestu.

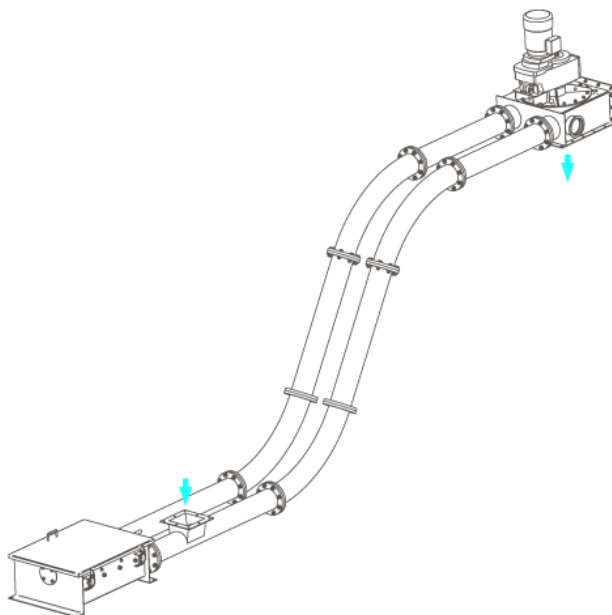


Obr. 12: Provedení V - diagonální, 50°-70°

<http://www.schrage.de>

## Provedení VI:

Jde o provedení horizontální, diagonální, horizontální.

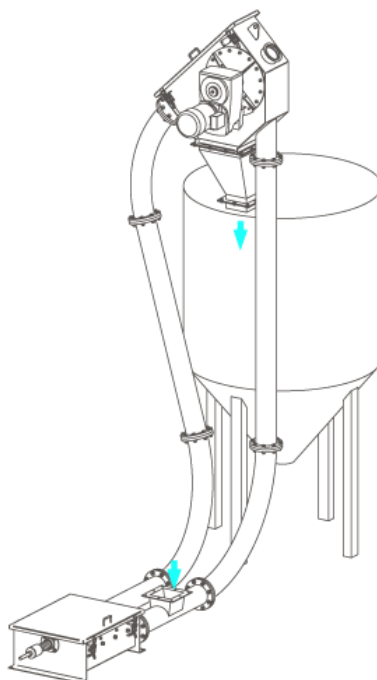


Obr. 13: Provedení VI - horizontální, diagonální, horizontální

<http://www.schrage.de>

## Provedení VII:

Jedná se o provedení horizontální, vertikální. Jde o kombinaci těchto provedení které je určeno pro dopravu určenou k plnění sila. Maximální výška dopravy je 40 m.

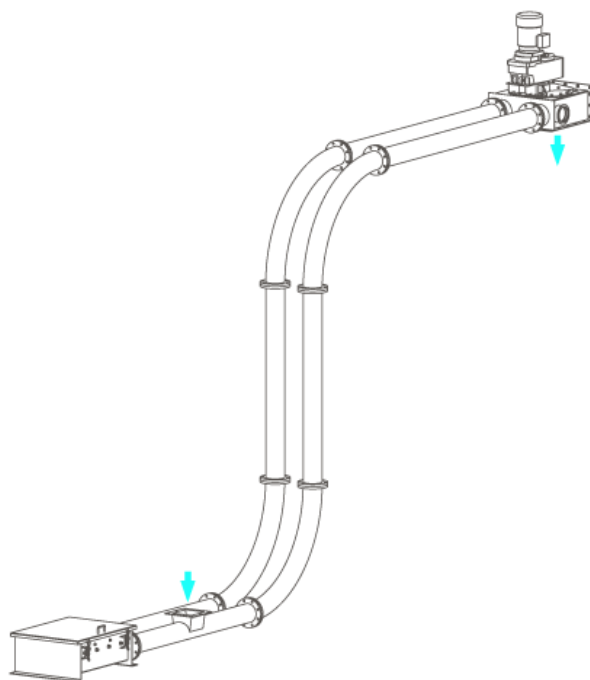


Obr. 14: Provedení VII - horizontální, vertikální

<http://www.schrage.de>

Provedení VIII:

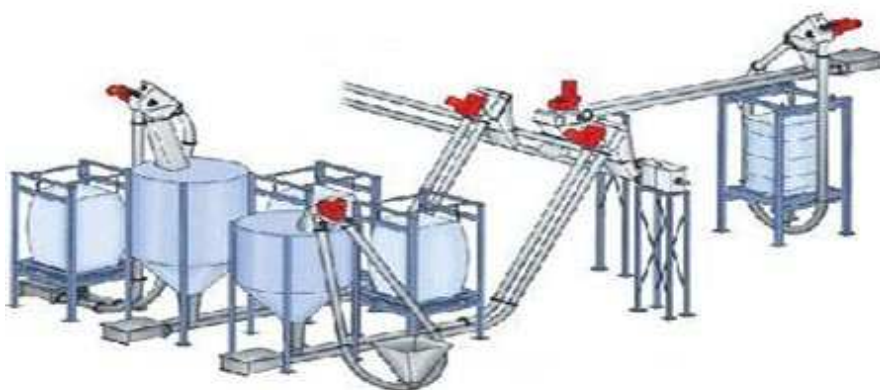
Jde o provedení horizontální, vertikální a opět horizontální které slouží pro dopravu abrazivního materiálu.



Obr. 15: Provedení VIII - horizontální, vertikální, horizontální

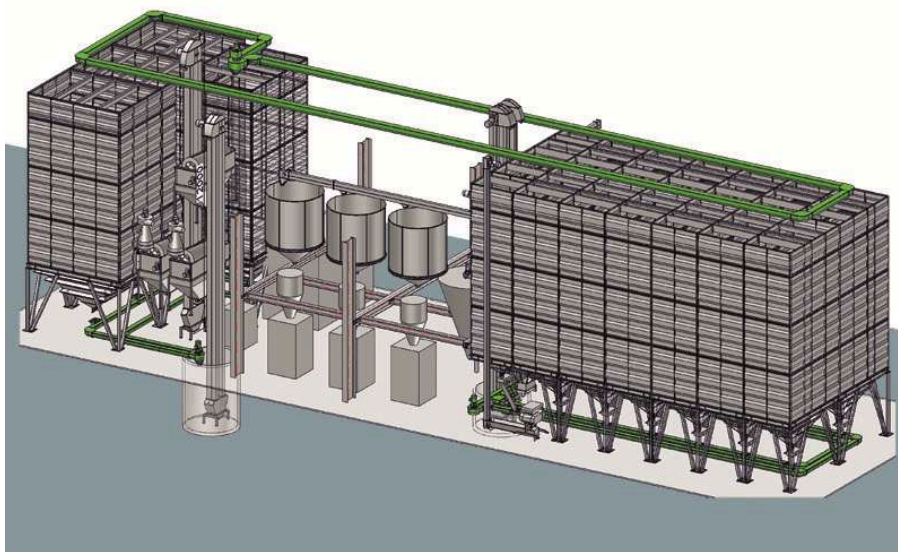
<http://www.schrage.de>

Ukázka provedení trubko-řetězových dopravníků v dopravním systému:



Obr. 16: Přeprava materiálu mezi silo

<http://www.yuhaojixie.com/>



Obr. 17: Dopravní systém pro dopravu obilovin

<http://www.horstkoetter-tornado.de>

### 3. Dopravníky od jiných firem

Jelikož se trubko-řetězovými dopravníky nezabývá jen firma Schrage, ale i další firmy tak zde uvedu stručnou ukázkou pár z nich.

#### 3.1 Firma Hapman

Jde o Americkou společnost se zastoupením po celém světě zabývající se dopravou sypkých materiálů různými způsoby. Konkrétně jde o flexibilní šnekové dopravníky, vakuové dopravníky, trubkové dopravníky, pytlové nakladače a vykladače. Jejich dopravníky jsou využívány v chemickém, potravinářském, farmaceutickém či stavebním průmyslu. [7]

## Ukázky některých produktů firmy Hapman

### Helix<sup>®</sup> Flexibilní šnekový dopravník

Jde o dopravník jednoduché avšak robustní konstrukce jenž se skládá z jedné pohyblivé části a tím je šnek který se otáčí uvnitř ocelové trubice. Dokáže dopravovat materiál v horizontální poloze do vzdálenosti až 24,4 m a v poloze vertikální je to až 12,2 m. Tento typ dopravníku je vhodný pro dopravu prášků, granulí, krystalů a dalších.

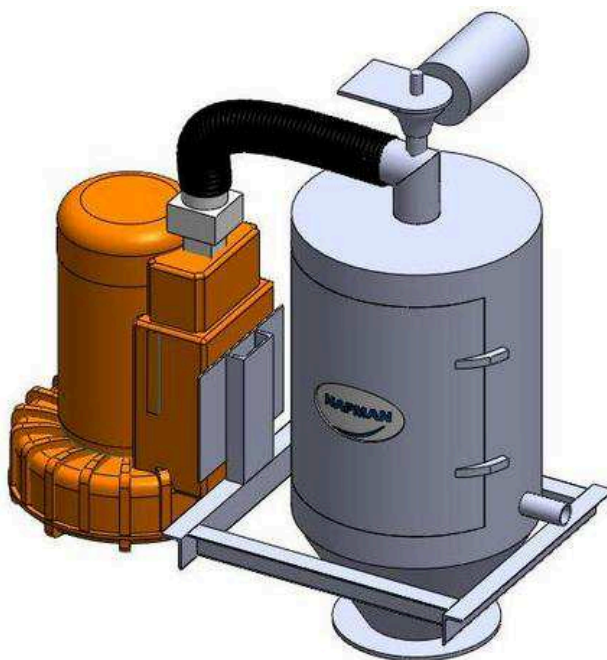


Obr. 18: Helix<sup>®</sup> Flexibilní šnekový dopravník

<http://www.hapman.com>

### MiniVac<sup>™</sup> Vakuový dopravník

Jde o dopravník jenž se využívá ve stísněných prostorech k dopravě prášků či granulí. Je schopen dopravit až 4 536 kg/h a vyznačuje se nízkou energetickou náročností. Dosahuje maximální kapacity 63 712 cm<sup>3</sup>/min.

Obr. 19: Helix<sup>®</sup> MiniVac<sup>™</sup> Vakuový dopravník<http://www.hapman.com/>

### Trubkový dopravník

Jde o dopravník jenž je stejným typem dopravníku kterým se zabývá firma Schrage, tedy trubkový řetězový dopravník jenž dokáže dopravovat sypký materiál v libovolném směru. Princip funkce je stejný jako u dopravníku Schrage, tedy řetěz s unášeci vytváří komory ve kterých je umístěn sypký materiál a je tak tlačén až do místa vyložení. Dopravník je schopen dopravovat materiál ve vertikálním směru až do vzdálenosti 122 m a ve směru svislém až do 26 m o průměru trubky až 300 mm.



Obr. 20: Trubkový dopravník Hapman

<http://www.hapman.com>

### 3.2 Firma Horstkötter

Jde o německou firmu jenž byla založena roku 1920 a zabývá se kompletními dopravníkovými systémy v zemědělství, dále také sušícími zařízeními. Výrobní základna firmy se nalézá ve městě Beckum kde pracuje přibližně 70 zaměstnanců. [8]



## Ukázky některých produktů firmy Horstkötter

### Trubkový šnekový dopravník

Jde o šnekový dopravník o délce maximálně 12 m sloužící pro dopravu pšenice. Pohyblivou částí je zde šnek který rotuje v uzavřeném prostoru trubce. Firma nabízí mnoho konstrukčních variant a také rozsáhlé příslušenství. Označení: TS 90, 110, 130, 150, 200  
Dopraví v horizontálním směru až 48 t/h, ve vertikálním až 17 t/h.



Obr. 21: Trubkový šnekový dopravník Horstkötter

<http://www.horstkoetter-tornado.de>

### Žlabový šnekový dopravník

Jde o stejné provedení jako u předchozího typu jen trubka je nahrazena žlabem. Označení dopravníku máme: TST 110, 150, 220. Maximální výkon kterého je schopný dopravník dosáhnout je 40 t/h a maximální délka je 20 m.



Obr. 22: Žlabový šnekový dopravník Horstkötter

<http://www.horstkoetter-tornado.de>

### Trubkový-řetězový dopravník

Jde o uzavřenou trubku v níž je natažen řetěz s unášeci stejně jako u předchozích typů trubkových řetězových dopravníků od výše uvedených firem. Tento dopravník slouží pro dopravu suchých, sypkých látek o malých rozměrech. Označení TRK 60, 90 115, 160. Maximální dopravované množství je u tohoto typu dopravníku až 46 m<sup>3</sup>/h.



Obr. 23: Trubkový-řetězový dopravník Horstkötter

<http://www.horstkoetter-tornado.de>

### 3.3 Firma Spiroflow Systems Inc.

Společnost byla založena roku 1970 a od svých počátků se zabývá flexibilními šnekovými dopravníky. Jedná se o Americkou společnost jenž má zastoupení v Anglii a dodává dopravní systémy po celém světě. [9]

## Ukázky některých produktů firmy Siroflow Systems Inc.

### Flexibilní šnekový dopravník

Stejně tak jako u shodných produktů výše uvedených firem i zde se jedná o dopravník jenž se skládá ze dvou částí a to rotující kterou tvoří šnek (spirála) a statickou jenž tvoří trubka. Dopravník dosahuje maximální délky v horizontální poloze 14 m a ve vertikální poloze je to až 5,5 m. Jde o všestranný dopravník který se využívá jak v potravinářském, farmaceutickém tak i chemickém průmyslu.



Obr. 24: Flexibilní šnekový dopravník Spiroflow Systems Inc.

<http://www.spiroflowsystems.com>

### Vzduchový mechanický dopravník

Jedná se o dopravník trubkové konstrukce v němž je nataženo lano které se za pomoci kotoučů pohybuje vysokou rychlostí čímž vytváří proud vzduchu do kterého je přiveden dopravovaný materiál a za jeho pomoci je dopraven na potřebné místo. Jeho velkou výhodou je možnost dopravovat materiál prakticky v libovolném úhlu.

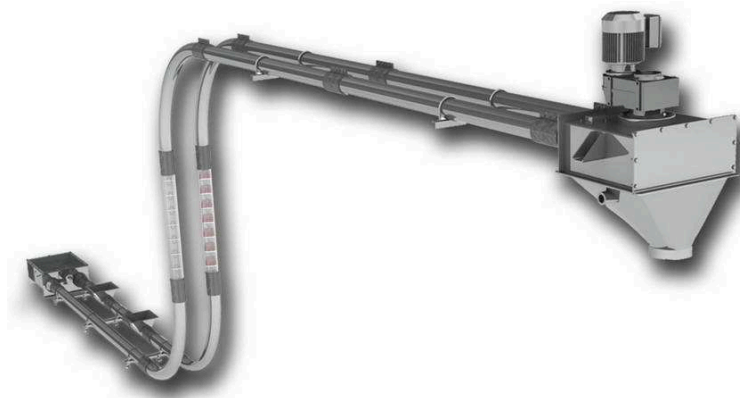


Obr. 25: Vzduchový mechanický dopravník Spiroflow Systems Inc

<http://www.spiroflowsystems.com>

#### Trubkový-řetězový dopravník

Jde o již nám známý dopravník se kterým jsme se setkali u výše uvedených firem. Tedy opět konkurence pro Schrage. Jde o trubku uvnitř které je natažen řetěz s unášeci které vytváří komory pro dopravu materiálu. Jsou určeny pro dopravu materiálu v několika rovinách a to do teploty 250 °C. Dopravník využijeme v rozmanitých odvětvích jako je potravinářství, zemědělství, chemický průmysl apd. Maximální rychlost dopravy je 17 m/min.



Obr. 26: Trubkový-řetězový dopravník Spiroflow Systems Inc

<http://news.thomasnet.com>

## 4. Dopravovaný materiál - biohmota

### 4.1 Historie dopravy kalů

Již ve starověku (2500 let př. kr.) byl odvod splašků a dešťové vody na poměrně vysoké úrovni. V Egyptě využívaly povrchové rozvody umístěné v ulicích, v Mezopotámii zase zděné ovšem již kryté stoky. Na ostrově Kréta byla zase kanalizace tvořena z hliněných trub. Oproti tomu v Babylonu jsme mohli najít klenuté stoky.

S příchodem středověku se zejména v Evropě od podobné dopravy splašků tedy tvoření kanalizací ustoupilo a ty se vylévaly přímo na ulici. Díky tomuto nevhodnému způsobu nakládání se splašky se začaly šířit nemoci (mor, cholera).

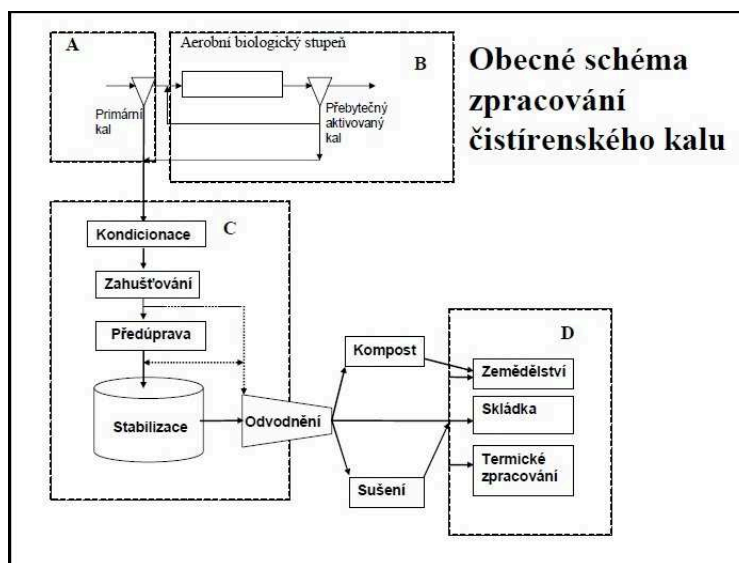
Až v 18. století se začala budovat kanalizace tak jak ji známe dnes. Dochází i k vývoji a využívání čistíren odpadních vod jenž slouží k odstranění nečistot z kalů a tím se dostáváme až k naší problematice dopravy. [3]

### 4.2 Technologie zpracování kalů

Dělíme ji do dvou skupin a to na:

- primární - tj. metody úpravy vlastností
- finální - tj. metody konečného využití a likvidace

Metody primární usnadňují průběh zpracování kalů a v mnoha případech jsou podmínkou pro zavedení metod finálních.



Obr. 27: Schéma zpracování kalu

**Primární metody:**

- separace - oddělení kapalné a tuhé fáze
- kondicionace - chemická, termická či fyzikálně-chemická předúprava
- zahušťování a odvodňování - dochází zde ke zvýšení koncentrace sušiny kalu před jeho dalším zpracováním (koncentrace sušiny do 40%)
- sušení - zvýšení obsahu sušiny na 60 - 95%
- anaerobní biologická stabilizace - metanizace - zušlechťení přeměnou převážné části organické sušiny na bioplyn a současně zde dochází k minimalizaci zpracovávaného materiálu a k jeho hygienizaci
- další způsoby stabilizace

**Finální metody:**

těmito metodami rozumíme následné využití kalu nebo spíš toho co z něj zbude po té co projde primární metodou. Patří sem:

- využití v zemědělství - využití hnojivých vlastností anorganických a organických živin. Využití např. při kompostování.
- termické využití - využití energie a dalších cenných látek
- skládkování - jde o krajní způsob řešení

**Závislost kalové technologie na způsobu konečného využití kalů**

Rozlišujeme tři druhy využití. Jsou to:

- termické využití - nutnost minimálního množství zbytkové vody
- zemědělství - nutnost hygienizace, odstranění vybraných polutantů (znečišťujících odpadních látek)
- skládkování - limitované množství zbytkové vody stejně tak jako limitovaný podíl organických látek

**Metody termického zpracování kalů**

- samostatné spalování
- společné spalování s energetickým palivem
- spalování v cementárenské peci
- mokré spalování
- zplynování, pyrolýza

## Množství a produkce čistírenských kalů v ČR

	2001
Počet ČOV	1122
Množství čistěných odpadních vod	841,4 mil.m <sup>3</sup> /rok
z toho:	
splaškových	330,2 mil.m <sup>3</sup> /rok
průmyslových a ostatních	169,7 mil.m <sup>3</sup> /rok
srážkových	341,4 mil.m <sup>3</sup> /rok
produkce kalu v sušině	205,6 tis.t/rok
z toho uloženo na skládce	37,9 tis.t/rok

Obr. 28: Množství a produkce kalů v ČR

### Kritéria posuzování kvality kalů

Jedná se o vlastnosti kalů:

- fyzikální - teplota, hustota, koncentrace NL, pH (vhodnost pro různé typy půd, zápach), výhřevnost
- chemické - těžké kovy, organické polutanty, endocrine disruptors: zbytky léků, kosmetických prostředků, obsah látek: N, Ca, P, S, K, Si
- biologické - výskyt nebezpečných látek (zdravotní rizika, hygienické problémy), stabilita kalů, biologická rozložitelnost, respirační rychlost (kompostování), testy klíčivosti (zemědělské účely)
- senzorické - zápach, barva

### Reologické vlastnosti kalů

Tyto vlastnosti jsou klíčové pro dopravu

Reologie se zabývá studiem deformací hmoty. Jde o nauku zkoumající materiálové vlastnosti tekutých látek za pohybu. Reologie nachází vztahy mezi napětím a deformací.

Patří sem:

- viskozita
- měrná hmotnost - stanovuje se u tekutého stabilizovaného kalu  
 $\rho = 1000 \text{ až } 1100 \text{ kg.m}^{-3}$
- zrnitost a velikost částic
- sedimentační zahušťovací vlastnosti
- odvodnitelnost
- filtrační odpor

### Čerpání a doprava kalu

Čistírenský kal rozdělujeme dle obsahu vody který se v něm nalézám:

- tekutý - 85 až 99 % vody, díky tomu lze dopravovat potrubím
- mazlavý - 75 až 85 % vody
- kašovitý - 70 až 75 % vody
- drobivý až pevný - 40 až 70 % vody
- sypký až pevný - 10 až 40 % vody
- prašný - do 10 % vody

### Další vlastnosti kalů

Kalem rozumíme směs která se skládá ze dvou nebo více látek. Z toho minimálně jedna z těchto látek musí být v kapalném skupenství a minimálně jedna ve skupenství tuhém a ta je pak rozptýlena v této kapalně látce. [13]

Představují zhruba 1 - 2% objemu znečištěných vod ve kterých je ovšem koncentrované 50 - 80% původního znečištění. Toto znečištění je způsobeno mikroorganismy, toxickými látkami jako jsou halogenované organické sloučeniny AOX, polychlorované bifenylly PCB aj. a těžké kovy - např.: Cd, Cr, Cu. Mezi hlavní patogeny které se mohou vyskytnout v kalových vodách patří hlavně viry a bakterie např.: salmonella.

Kaly jsou bohatým zdrojem organické hmoty, základních živin i stopových prvků a tedy mohou zlepšovat fyzikálně-chemické vlastnosti půd. Významně je v kalech zastoupen dusík a fosfor.

Mezi jeho důležité vlastnosti patří jeho konzistence, která velmi souvisí s koncentrací tuhých složek v kapalině která je vyjádřena jako sušina v kalu. Vazba mezi vodou a pevnou fází nemá v celkovém objemu stále stejný charakter. Máme vodu tzv. prostorovou která je oddělitelná gravitačními silami tak i vodu která je pevně vázána v kalu, kterou oddělíme až s



vynaložením větší energie např. v odstředivce. Sušina ve většině případů nepřekročí 10%, ovšem je u ní důležitá závislost na charakteru kalových částic. Dva kaly o stejné sušině mohou mít odlišnou konzistenci.

V městských ČOV nalezneme kaly jenž mají průměrný obsah sušiny 0,5 - 7%, jenž je složena z 60 - 70% organických látek a 30 - 40% látek anorganických. V tuhé fázi je obsaženo přibližně 80% suspendovaných částic o velikosti zrna nad 0,1 mm a asi 20% částic o velikosti pod 0,1 mm. Většina těchto částic má charakter koloidní a tyto jednotlivé částice mají velkou povrchovou plochu. Taky má organická hmota sušiny kapilární tvar povrchu kde zadržuje velké množství vody která způsobuje obtížné odvodnění kalů.

Kaly se v ČOV usazují ve dvou formách. První z nich se nazývá primární kal, který je oddělován ze surové vody sedimentací v usazovacích nádržích a z pravidla má zrnitou strukturu a je tvořen nerozpuštěnými látkami které prošli lapákem písku a česlemi. Druhý z nich se nazývá sekundární kal a ten vzniká v biologickém stupni čištění a odděluje se od vyčištěné vody v nádržích a má vločkovitou strukturu. Oba druhy kalů se zahušťují před dalším zpracováním a říká se jim surový kal. Poslední druh kalu nazýváme aktivovaný kal ve kterém se vyskytují bakterie, dále také houby, plísňe a kvasinky.

Složka	% složek		
	Primární	Aktivovaný	Vyhníly
Organická hmota	60 - 80	60 - 75	45 - 60
Inertní látky	20 - 40	25 - 40	40 - 45

Tab. 3: Složení kalu

Typ kalu	% sušiny
Primární kal	2,5 - 5
Aktivovaný kal	0,5 - 1,5

Tab. 4: Množství sušiny

## **5. Konstrukční řešení trubko-řetězového dopravníku**

### **5.1 Popis řešení**

Jedná se o trubko-řetězový dopravník jenž bude dopravovat kaly z místa násypky (nápustě) jenž je umístěna v dolní části dopravníku k místu výsypky (výpustě) jenže je umístěna o 8 m výše.

Výhodou tohoto dopravníku je jeho jednoduchá konstrukce jenž se skládá z poháněcí stanice, vratné a současně i napínací stanice dále s potrubí v němž je natažen nekonečný řetěz s unášeci. [1, 2]

Ke stanovení rozměrů bylo využito programu Inventor 2012

#### **Poháněcí stanice**

Je umístěna v horní části dopravníku ve výšce osmi metrů od země. Spojena je s ocelovou svařovanou konstrukcí jenž je umístěna na betonovém podkladu. Tato stanice je rovněž určena i pro výsyp materiálu a z toho důvodu je její spodní část otevřená. Skládá se z těchto hlavních částí: motoru s převodovkou, řetězového kola, hřídele, ložisek s ložiskovými domky a skříně.

#### **Vratná (napínací) stanice**

Nalezneme ji na opačném konci dopravníku pod výpustí. Její umístění je na ocelovém rámu jenž je připevněn k betonovému podkladu. Všechny tyto komponenty najdeme 3 m pod zemí. Skládá se z ocelové skříně s víkem které umožňuje přístup v němž jsou umístěny saně po kterých probíhá pohyb a tedy napínání řetězu s unášeci. Síla která je potřeba k napínání je vyvozena napínací pružinou. Dále v této stanici nalezneme: řetězové kolo, ložiska s domky, hřídel.

## Potrubí dopravníku

Toto potrubí slouží jako nosný orgán dopravníku a jím je veden řetěz s unášecí. Dovede materiál na dopravníku na potřebné místo. Jelikož dopravovaným materiálem je kal jehož součástí je voda a tedy se jedná o prostředí způsobující korozi. Z tohoto důvodu jsou pro konstrukci potrubí využity nerezové trubky firmy Armat spol. s.r.o. Nejen že jsou odolné vůči korozi ale lépe odolávají i opotřebení které je způsobeno třením materiálu právě o toto potrubí. Pospojování jednotlivých částí potrubí je provedeno pomocí přírub. [10]

### Tažný řetěz s unášecí

Slouží u dopravníku jako tažený prvek. Řetěz byl vybrán od firmy JUBO Jeseník s.r.o. který firma vyrábí přímo pro využití v dopravnících. Unášecí jsou vzhledem k vlhkosti okolí a také toho že dopravovaný materiál nebude mít velkou tvrdost použity výhradně plastové a to konkrétně plast HPV PPS - polyfenylsulfid od firmy TRIBON s.r.o. [11, 12]

## 6. Pevnostní a technologické výpočty

### 6.1 Veličiny pro které je dopravník navrhován

- Měrná hmotnost materiálu:  $\rho = 1\,050 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Dopravní množství:  $Q = 15 \text{ t/hod}$
- Úhel vnitřního tření:  $\varphi_e = 36^\circ$
- Úhel vnějšího tření:  $\varphi_v = 20^\circ$

**Výpočet šířky mezery mezi trubkou a unášecem + objem dopravovaného materiálu**

Volba trubky: pro celou dopravní trať využiji trubky od firmy Armat spol. s.r.o. podle normy DIN 2462 / 1,4301 které mají následující rozměry:

Vnější průměr	0,27305 m
Vnitřní průměr	0,24765 m
Tloušťka stěny	0,01270 m

Tab. 5: Rozměry trubek

Průměr unášeče:  $d_{un} = 0,240$  m, šíře: 0,015 m (plast HPV PPS; firma: TRIBON s.r.o)

Řetěz: 90x18 DIN 762. Jde o řetěz kvality 2, zatížení: 25 kN,

síla kde dojde k přetržení: 125 kN

Šířka mezery mezi trubkou a unášecem

$$s = \frac{d_{tr} - d_{un}}{2} = \frac{0,248 - 0,240}{2} \Rightarrow s = 0,004 \text{ m} \quad (1)$$

Objem 1 m řetězu s unášeci je pomocí programu Inventor 2012 stanoven na:  $V_{\text{ř}} = 0,0022 \text{ m}^3$

Objem 1 m trubky:

$$V_{tr} = \frac{\pi \cdot d_{tr}^2}{4} \cdot 1 = \frac{\pi \cdot 0,248^2}{4} \Rightarrow V_{tr} = 0,048 \text{ m}^3 \quad (2)$$

Teoretický objem dopravovaného materiálu:

$$V_{teor} = V_{tr} - V_{\text{ř}} = 0,048 - 0,0022 \Rightarrow V_{teor} = 0,0458 \text{ m}^3 \quad (3)$$

## Kapacitní výpočet

Veškeré vztahy a veličiny převzaty, pokud není uvedeno jinak z Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Stauscheibenförderer [2]

Volím tyto hodnoty:

Rychlost tažného řetězu:  $v = 0,15 \text{ m.s}^{-1}$

Stupeň nedostatečného plnění  $\eta_v = 0,9$

Stupeň proudění materiálu:  $\eta_i = 0,7$

$$Q_1 = 3,6 \cdot V_{teor} \cdot \eta_v \cdot \eta_i \cdot v \cdot \rho = 3,6 \cdot 0,0458 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 0,15 \cdot 1050 \Rightarrow \quad (4)$$

$$\Rightarrow Q_1 = 16,360 \text{ t/hod}$$

Je třeba aby byla splněna podmínka  $Q \leq Q_1$  což vyhovuje

## Stanovení jednotlivých úseků dopravníku

Délky jednotlivých úseků jsou následující:

Vratná větev		Dopravní větev	
Číslo úseků	Délka v mm	Číslo úseků	Délka v mm
U 0-1	2000	U 6-7	3000
U 1-2	3925	U 7-8	1000
U 2-3	4000	U 8-9	3140
U 3-4	2355	U 9-10	4000
U 4-5	4000	U10-11	3140
		U11-12	2000

Tab. 6: Délky jednotlivých úseků

Délka prázdné části dopravníku:

$$L_{pr} = U_{01} + U_{12} + U_{23} + U_{34} + U_{45} = 2000 + 3925 + 4000 + 2355 + 4000 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_{pr} = 16\,280 \text{ mm} \quad (5)$$

Délka plné části dopravníku:

$$L_{pl} = U_{67} + U_{78} + U_{89} + U_{910} + U_{1011} = 4000 + 3140 + 4000 + 3140 + 2000 \Rightarrow \\ \Rightarrow L_{pl} = 16\,280\text{ mm} \quad (6)$$

Délka obou částí:

$$L_d = L_{pr} + L_{pl} = 16280 + 16280 \Rightarrow L_d = 35\,560\text{ mm} \quad (7)$$

### Stanovení jednotlivých hmotností a součinitelů tření

Hmotnost materiálů který se nachází na 1 m dopravníku:

$$m_m = \eta_v \cdot V_{teor} \cdot \rho = 0,9 \cdot 0,0458 \cdot 1050 \Rightarrow m_m = 43,281\text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \quad (8)$$

Hmotnost 1 m řetězového pásma včetně unášeců (Inventor 2012):

$$m_{\dot{r}} = 7,844\text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Součinitel tření mezi trubkou a dopravovaným materiálem:

$$\mu_v = \tan \varphi_v = \tan 25^\circ \Rightarrow \mu_v = 0,364 \quad (9)$$

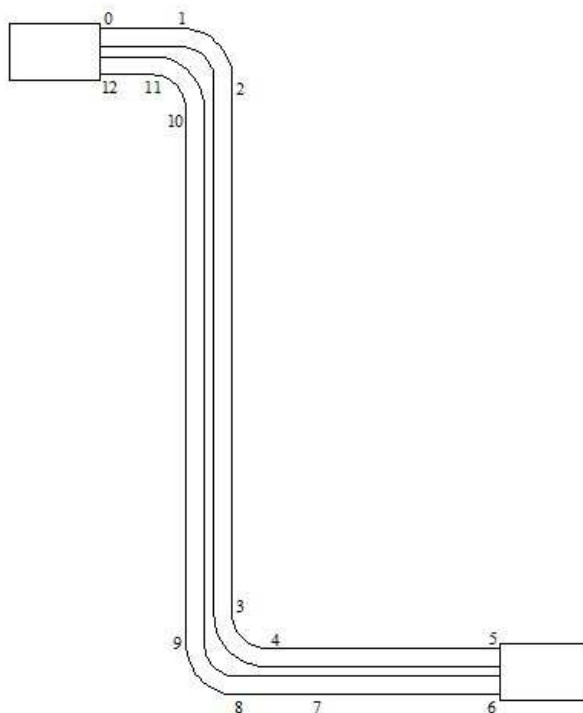
Využijeme plastový unášec z označeného Techtron HPV PPS [11] kde max.  $\mu_v = 0,3$

Součinitel sypnosti:

$$k = \frac{1 - \sin \varphi_e}{1 + \sin \varphi_e} = \frac{1 - \sin 36^\circ}{1 + \sin 36^\circ} \Rightarrow k = 0,260 \quad (10)$$

## Výpočet tahné síly řetězu a obvodové síly na hnacím kole

Označení jednotlivých úseků nalezneme na obr. č. 29



Obr. 29: Schéma jednotlivých úseků dopravníku

Volíme napínací sílu pro vymezení vůlí:  $F_{nap} = 2000 \text{ N}$

Vzhledem k délce 16,3 m plné větve dopravníku což se řadí mezi kratší vzdálenosti volíme nižší hodnotu napínací síly  $F_{nap}$  [14]

Úsek 0-1

$$\text{Tah v bodě 0: } F_0 = \frac{F_{nap}}{2} = \frac{2000}{2} \Rightarrow F_0 = 1000 \text{ N} \quad (11)$$

$$\text{Odpor proti pohybu 0 - 1: } K_1 = U_{0-1} \cdot m_f \cdot g \cdot \mu_v = 2 \cdot 7,844 \cdot 9,81 \cdot 0,3 \Rightarrow K_1 = 46,160 \text{ N} \quad (12)$$

$$\text{Tah v bodě 1: } T_1 = F_0 + K_1 = 1000 + 46,160 \Rightarrow T_1 = 1046,160 \text{ N} \quad (13)$$

## Úsek 1-2

Volíme úhly [2]:  $\psi_0 = 0^\circ$ ,  $\psi = 90^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Tah v bodě 2: } T_2 &= \frac{m_{\text{ř}} \cdot g \cdot R_1 \cdot A_1 - B_1 \cdot e^{\mu_v(\psi \cdot \psi_0)}}{1 + \mu_v^2} = \frac{7,844 \cdot 9,81 \cdot 2,5 \cdot (-2,91) + 1158,15 \cdot e^{0,3(\frac{\pi}{2} - 0)}}{1 + 0,3^2} => \\ &=> T_2 = 1188,146 \text{ N} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{kde: } A_1 &= (\mu_v^2 - 1) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \psi - 2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \psi - (\mu_v^2 + 1) \cdot \sin \alpha = \\ &= (0,3^2 - 1) \cdot \cos 0 \cdot \sin 90 - 2 \cdot \cos 0 \cdot \sin 90 - (0,3^2 + 1) \cdot \sin 0 => A_1 = -2,91 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} B_1 &= m_{\text{ř}} \cdot R_1 \cdot \cos \alpha \cdot [(\mu_v^2 - 1) \cdot \cos \psi_0 - 2 \cdot \mu_v \cdot \sin \psi_0] - \\ &- (\mu_v^2 + 1) \cdot (m_{\text{ř}} \cdot g \cdot R_1 \cdot \sin \alpha + T_1) = \\ &= 7,844 \cdot 2,5 \cdot \cos 0 \cdot [(0,3^2 - 1) \cdot \cos 0 - 2 \cdot 0,3 \cdot \sin 0] - (0,3^2 + 1) \cdot \\ &\cdot (7,844 \cdot 9,81 \cdot 2,5 \cdot \sin 0 + 1046,160) => B_1 = -1158,15 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{Odpor proti pohybu v bodě 2: } K_2 &= T_2 - T_1 = 1188,146 - 1046,160 => \\ &=> K_2 = 141,986 \text{ N} \end{aligned} \quad (17)$$

## Úsek 2-3

$$\text{Odpor proti pohybu: } K_3 = U_{2-3} \cdot m_{\text{ř}} \cdot g = -4 \cdot 7,844 \cdot 9,81 => K_3 = -307,799 \text{ N} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{Tah v bodě 3: } T_3 &= F_0 + K_1 + K_2 + K_3 = 1000 + 46,160 + 141,986 - 307,799 => \\ &=> T_3 = 880,347 \text{ N} \end{aligned} \quad (19)$$

## Úsek 3-4

Volíme úhly [2]:  $\psi_0 = 0^\circ$ ,  $\psi = 90^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$

Tah v bodě 4:

$$\begin{aligned} T_4 &= \frac{m_{\text{ř}} \cdot g \cdot R_2 \cdot A_2 - B_2 \cdot e^{\mu_v(\psi \cdot \psi_0)}}{1 + \mu_v^2} = \frac{7,844 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot (-2,91) + 970,285 \cdot e^{0,3(\frac{\pi}{2} - 0)}}{1 + 0,3^2} => \\ &=> T_4 = 1117,540 \text{ N} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} A_2 &= (\mu_v^2 - 1) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \psi - 2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \psi - (\mu_v^2 + 1) \cdot \sin \alpha = \\ &= (0,3^2 - 1) \cdot \cos 0 \cdot \sin 90 - 2 \cdot \cos 0 \cdot \sin 90 - (0,3^2 + 1) \cdot \sin 0 => A_1 = -2,91 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
B_2 &= m_{\text{ř}} \cdot R_2 \cdot \cos \alpha \cdot [(\mu_v^2 - 1) \cdot \cos \psi_0 - 2 \cdot \mu_v \cdot \sin \psi_0] - \\
&-(\mu_v^2 + 1) \cdot (m_{\text{ř}} \cdot g \cdot R_2 \cdot \sin \alpha + T_3) = \\
&= 7,844 \cdot 1,5 \cdot \cos 0 \cdot [(0,3^2 - 1) \cdot \cos 0 - 2 \cdot 0,3 \cdot \sin 0] - (0,3^2 + 1) \cdot \\
&\cdot (7,844 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot \sin 0 + 880,347) \Rightarrow B_2 = -970,285
\end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
\text{Odpor proti pohybu v bodě 4:} \quad K_4 &= T_4 - T_3 = 1117,540 - 880,347 \Rightarrow \\
&\Rightarrow K_4 = 237,193 \text{ N}
\end{aligned} \tag{22}$$

Úsek 4-5

$$\text{Odpor proti pohybu: } K_5 = U_{4-5} \cdot m_{\text{ř}} \cdot g \cdot \mu_v = -4 \cdot 7,844 \cdot 9,81 \cdot 0,3 \Rightarrow K_5 = -92,330 \text{ N} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tah v bodě 5:} \quad T_5 &= F_0 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 = 10000 + 46,160 + 141,986 - \\
&-307,799 + 237,193 - 92,330 \Rightarrow T_5 = 1025,21 \text{ N}
\end{aligned} \tag{24}$$

Úsek 5-6

$$\text{Odpor proti pohybu: } K_6 = 0 \text{ N} \tag{25}$$

$$\text{Tah v bodě 6:} \quad T_6 = T_5 \Rightarrow T_6 = 1025,21 \text{ N} \tag{26}$$

Úsek 6-7

$$\text{Odpor proti pohybu: } K_7 = U_{6-7} \cdot m_{\text{ř}} \cdot g \cdot \mu_v = 0,5 \cdot 7,844 \cdot 9,81 \cdot 0,3 \Rightarrow K_7 = 11,542 \text{ N} \tag{27}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tah v bodě 7:} \quad T_7 &= F_0 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 = 1000 + 46,160 + \\
&+141,986 - 307,799 + 237,193 - 92,330 + 0 + 11,542 \Rightarrow T_7 = 1036,752 \text{ N}
\end{aligned} \tag{28}$$

Úsek 7-8

$$\begin{aligned}
\text{Odpor proti pohybu: } K_8 &= U_{7-8} \cdot [m_m \cdot g \cdot \mu_v \cdot (1 + k) + m_{\text{ř}} \cdot g \cdot \mu_v] = 3,5 \cdot [38,472 \cdot \\
&9,81 \cdot 0,3 \cdot (1 + 0,260) + 7,844 \cdot 9,81 \cdot 0,3] \Rightarrow K_8 = 500,111 \text{ N}
\end{aligned} \tag{29}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tah v bodě 8:} \quad T_8 &= F_0 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8 = 1000 + \\
&46,160 + 141,986 - 307,799 + 237,193 - 92,330 + 0 + 11,542 + 500,111 \Rightarrow T_8 = \\
&1536,863 \text{ N}
\end{aligned} \tag{30}$$

Úsek 8-9

Volím úhly [2]:  $\psi_0 = 0^\circ$ ,  $\psi = 90^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$

Tah v bodě 9:

$$T_9 = \frac{m_{\text{ř}} \cdot g \cdot R_3 \cdot A_3 - B_3 \cdot e^{\mu_v(\psi \cdot \psi_0)}}{1 + \mu_v^2} = \frac{7,844 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot (-2,91) + 1689,458 \cdot e^{0,3(\frac{\pi}{2}-0)}}{1 + 0,3^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_9 = 2071,542 \text{ N} \quad (31)$$

$$A_3 = (\mu_v^2 - 1) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \psi - 2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \psi - (\mu_v^2 + 1) \cdot \sin \alpha = \quad (32)$$

$$= (0,3^2 - 1) \cdot \cos 0 \cdot \sin 90 - 2 \cdot \cos 0 \cdot \sin 90 - (0,3^2 + 1) \cdot \sin 0 \Rightarrow A_1 = -2,91$$

$$B_3 = m_{\text{ř}} \cdot R_3 \cdot \cos \alpha \cdot [(\mu_v^2 - 1) \cdot \cos \psi_0 - 2 \cdot \mu_v \cdot \sin \psi_0] -$$

$$-(\mu_v^2 + 1) \cdot (m_{\text{ř}} \cdot g \cdot R_3 \cdot \sin \alpha + T_8) = \quad (33)$$

$$= 7,844 \cdot 2 \cdot \cos 0 \cdot [(0,3^2 - 1) \cdot \cos 0 - 2 \cdot 0,3 \cdot \sin 0] - (0,3^2 + 1) \cdot$$

$$\cdot (7,844 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot \sin 0 + 1536,863) \Rightarrow B_3 = -1689,457 \text{ N}$$

$$\text{Odpor proti pohybu v bodě 9:} \quad K_9 = T_9 - T_8 = 2071,542 - 1536,863 \Rightarrow \quad (34)$$

$$\Rightarrow K_9 = 534,679 \text{ N}$$

Úsek 9-10

$$\text{Odpor proti pohybu: } K_{10} = U_{9-10} \cdot m_{\text{ř}} \cdot g + U_{9-10} \cdot e^{1 \cdot \mu_v \cdot k} \cdot \frac{d_{\text{trv}}^2 \cdot \rho \cdot g \cdot \pi}{8} = 4 \cdot 7,844 \cdot 9,81 +$$

$$4 \cdot e^{4 \cdot 0,3 \cdot 0,260} \cdot \frac{0,24765^2 \cdot 1050 \cdot 9,81 \cdot \pi}{8} \Rightarrow K_{10} = 1\,662,784 \text{ N} \quad (35)$$

$$\text{Tah v bodě 10:} \quad T_{10} = F_0 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8 + K_9 +$$

$$+ K_{10} = 1000 + 46,160 + 141,986 - 307,799 + 237,193 - 92,330 + 0 + 11,542 +$$

$$500,111 + 534,679 + 1662,784 \Rightarrow T_{10} = 3734,326 \text{ N} \quad (36)$$

Úsek 10-11

Volím úhly [2]:  $\psi_0 = 0^\circ$ ,  $\psi = 90^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ$

Tah v bodě 11:

$$T_{11} = \frac{m_{\text{ř}} \cdot g \cdot R_4 \cdot A_4 - B_4 \cdot e^{\mu_v(\psi \cdot \psi_0)}}{1 + \mu_v^2} = \frac{7,844 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot (-2,91) + 4084,691 \cdot e^{0,3(\frac{\pi}{2}-0)}}{1 + 0,3^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{11} = 5592,502 \text{ N} \quad (37)$$

$$A_4 = (\mu_v^2 - 1) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \psi - 2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \psi - (\mu_v^2 + 1) \cdot \sin \alpha =$$

$$= (0,3^2 - 1) \cdot \cos 0 \cdot \sin 90 - 2 \cdot \cos 0 \cdot \sin 90 - (0,3^2 + 1) \cdot \sin 0 \Rightarrow A_4 = -2,91 \quad (38)$$

$$B_4 = m_{\text{ř}} \cdot R_4 \cdot \cos \alpha \cdot [(\mu_v^2 - 1) \cdot \cos \psi_0 - 2 \cdot \mu_v \cdot \sin \psi_0] -$$

$$-(\mu_v^2 + 1) \cdot (m_{\text{ř}} \cdot g \cdot R_3 \cdot \sin \alpha + T_{10}) = \quad (39)$$

$$= 7,844 \cdot 2 \cdot \cos 0 \cdot [(0,3^2 - 1) \cdot \cos 0 - 2 \cdot 0,3 \cdot \sin 0] - (0,3^2 + 1) \cdot$$

$$\cdot (7,844 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot \sin 0 + 3734,326) \Rightarrow B_4 = -4084,691 \text{ N}$$

Odpor proti pohybu v bodě 11:  $K_{11} = T_{11} - T_{10} = 5592,502 - 3734,326 \Rightarrow$

$$\Rightarrow K_{11} = 1858,176 \text{ N} \quad (40)$$

Úsek 11-12

Odpor proti pohybu:  $K_{12} = U_{11-12} \cdot [m_m \cdot g \cdot \mu_v \cdot (1 + k) + m_{\text{ř}} \cdot g \cdot \mu_k] = 2 \cdot [38,472 \cdot$

$$9,81 \cdot 0,364 \cdot (1 + 0,260) + 7,844 \cdot 9,81 \cdot 0,3] \Rightarrow K_{12} = 392,361 \text{ N} \quad (41)$$

Tah v bodě 12:  $T_{12} = F_0 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8 + K_9 + K_{10} +$

$$K_{11} + K_{12} = 1000 + 46,160 + 141,986 - 307,799 + 237,193 - 92,330 + 0 +$$

$$11,542 + 500,111 + 534,679 + 1662,784 + 1858,176 + 392,361 \Rightarrow$$

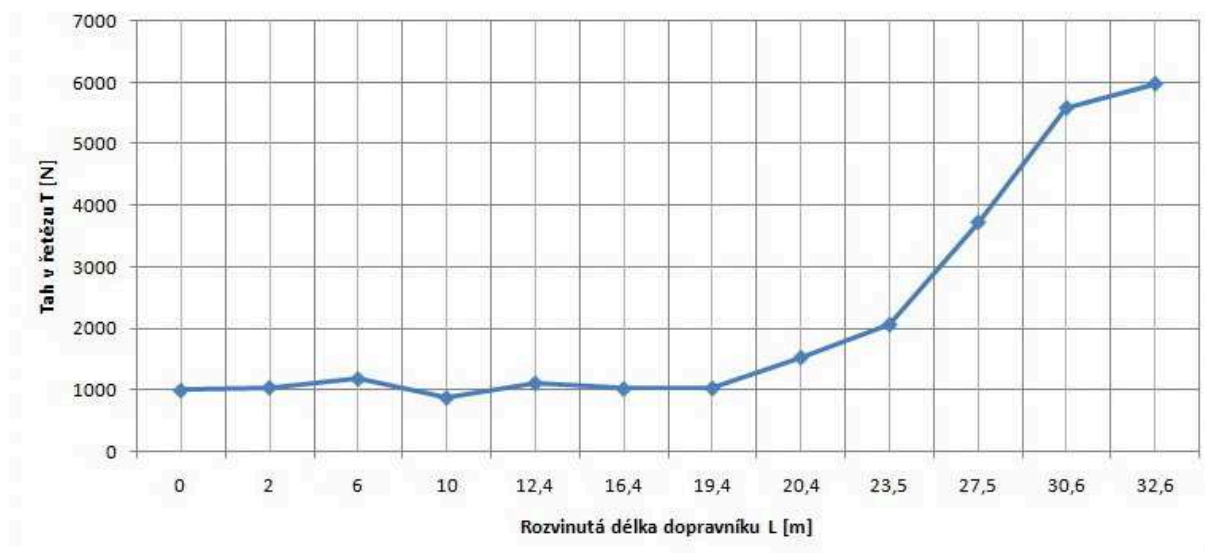
$$\Rightarrow T_{12} = 5984,863 \text{ N} \quad (42)$$

Obvodová síla na hnacím řetězovém kole

$$F = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8 + K_9 + K_{10} + K_{11} + K_{12} = 46,160 +$$

$$+ 141,986 - 307,799 + 237,193 - 92,330 + 0 + 11,542 + 500,111 + 534,679 +$$

$$1662,784 + 1858,176 + 392,361 \Rightarrow F = 4984,863 \text{ N} \quad (43)$$



Obr. 30: Závislost tažných sil na délce dopravníku

## 6.2 Výpočet poháněcí stanice a kontrola tažného řetězu

### Výpočet výkonu pro pohon dopravníku

Součinitel ohybu řetězu a tření ložisek:  $\mu_t = 1,2$

Zohlednění účinnosti pohonu [5]:  $\eta_{poh} = \eta_m \cdot \eta_{p1} \cdot \eta_s = 0,79 \cdot 0,97 \cdot 0,94$   
 $\Rightarrow \eta_{poh} = 0,72$  (44)

$$\text{Požadovaný výkon: } P = 1,2 \cdot \left( \frac{F \cdot v \cdot \mu_t}{\eta_{poh}} \right) = 1,2 \cdot \left( \frac{4984,863 \cdot 0,15 \cdot 1,2}{0,72} \right) \Rightarrow P = 1212,534 \text{ W}$$

$$P = 1,212 \text{ kW} \quad (45)$$

### Výpočet otáček poháněcího kola

Počet zubů řetězového kola:  $z = 8$

Pomocný úhel:  $\gamma = \frac{180^\circ}{a} = \frac{180}{8} \Rightarrow \gamma = 22,5^\circ = 0,3927 \text{ rad}$

Využijeme kolo od firmy Schrage GmbH [4].

Řetěz využijeme kalibrovaný který se využívá pro dopravníky a je dán normou DIN 762 [12].

Tloušťka drátu:  $d = 18 \text{ mm}$

Podélná rozteč oka řetězu:  $t = 90 \text{ mm}$

Příčná rozteč oka řetězu:  $a = 25 \text{ mm}$

Průměr roztečné kružnice poháněcího kola:

$$D_k = \sqrt{(t + d)^2 + \left(\frac{t - d}{\sin \gamma} + \frac{t + a}{\tan \gamma}\right)^2} = \sqrt{(90 + 18)^2 + \left(\frac{90 - 25}{\sin 0,3927} + \frac{90 + 25}{\tan 0,3927}\right)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_k = 460,34 \text{ mm} \quad (46)$$

Otáčky poháněcího kola

$$n = \frac{2 \cdot v}{D_k \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{2 \cdot 0,15}{0,46034 \cdot 2 \cdot \pi} \Rightarrow n = 0,104 \text{ s}^{-1} = 6,24 \text{ min}^{-1} \quad (47)$$

### Kontrola pohonu na rozběh

$$\text{Kroutící moment na hřídeli: } M_k = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{1122}{2 \cdot \pi \cdot 0,104} \Rightarrow M_k = 1717,908 \quad (48)$$

Stanovení převodovky a motoru [5]

Převodovka: A 90 4\_209,0 S4

výstupní otáčky:  $n_2 = 6,7 \text{ min}^{-1} = 0,112 \text{ s}^{-1}$

převodový poměr:  $i_p = 209,0$

maximální dovolený moment:  $M_{2\text{dov}} = 14\,000 \text{ Nm}$

životnost: 75 000 hod

Motor: BN 90 LA

jmenovité otáčky:  $n_m = 1\,410 \text{ min}^{-1}$

jmenovitý výkon:  $P_n = 1,5 \text{ kW}$

nominální moment:  $M_n = 10,2 \text{ Nm}$

Výpočet redukovaného momentu

Celková účinnost poháněcí stanice:  $\eta = 0,72$

Doba rozběhu dopravníku:  $t_{roz}: 5s$

$$\begin{aligned}
 M_{red} &= 0,5 \cdot D_k \cdot \left[ F + [L_{pl} \cdot (m_m + m_{\check{r}}) + L_{pr} \cdot m_{\check{r}}] \cdot \frac{v}{t_{roz}} \right] \cdot \frac{1}{\eta \cdot i_p} = \\
 &= 0,5 \cdot 0,46034 \cdot \left[ 4984,863 + [16,28 \cdot (38,472 + 7,844) + 16,28 \cdot 7,844] \cdot \frac{0,15}{5} \right] \cdot \\
 &\cdot \frac{1}{0,9 \cdot 209} \Rightarrow M_{red} = 7,665 \text{ Nm}
 \end{aligned} \tag{49}$$

Je třeba aby byla splněna podmínka:  $M_{red} \leq M_n \div 7,665 \leq 10,2$  - splněna

### Kontrola tažného řetězu

Dovolené zatížení řetězu:  $F_{řdov} = 25\,000 \text{ N}$

Síla potřebná na přetržení řetězu:  $F_{lom} = 125\,000 \text{ N}$

Tažená síla v řetězu

$$F_{\check{r}} = F_{nap} + F = 2000 + 4984,863 \Rightarrow F_{\check{r}} = 6984,863 \text{ N} \tag{50}$$

Dynamická síla v řetězu

$$F_{DS} = 6 \cdot m_L \cdot \sin\left(\frac{\pi}{a}\right) \cdot \frac{v^2}{D_k} = 6 \cdot 881,725 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{8}\right) \cdot \frac{0,15^2}{0,46034} \Rightarrow F_{DS} = 98,953 \text{ N} \tag{51}$$

Hmotnost řetězu a materiálu v celém dopravníku

$$\begin{aligned}
 m_L &= L_{pl} \cdot (m_m + m_{\check{r}}) + L_{pr} \cdot m_{\check{r}} = 16,28 \cdot (38,472 + 7,844) + 16,28 \cdot 7,844 \Rightarrow \\
 &\Rightarrow m_L = 881,725 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{52}$$

Celková síla působící na řetěz

$$F_{\check{r}celk} = F_{\check{r}} + F_{DS} = 6984,863 + 98,953 \Rightarrow F_{\check{r}celk} = 7083,816 \text{ N} \quad (53)$$

Je třeba aby byla splněna následující podmínka:  $F_{\check{r}celk} \leq F_{\check{r}dov} \div 7083,816 \leq 25\,000$  - splněna

Abychom dostali skutečnou sílu pro přetržení pak zavedeme součinitel bezpečnosti daný normou DIN 762;  $k_b = \frac{\text{síla při přetržení}}{\text{dovolené zatížení}} = \frac{160}{32} = 5$  a součinitel počtu zubů  $k_i = 1$

$$F_{\check{r}max} = F_{\check{r}celk} \cdot \frac{k_b}{k_i} = 7083,816 \cdot \frac{5}{1} \Rightarrow F_{\check{r}max} = 35\,419,08 \text{ N} \quad (54)$$

Síla  $F_{\check{r}max}$  dosahuje menší hodnoty než síla  $F_{lom}$  a proto můžeme s jistotou říci že řetěz bez problémů vydrží.  $F_{\check{r}max} \leq F_{lom} \div 35\,419,08 \leq 125\,000$  - splněna

### 6.3 Výpočet napínací pružiny

Výpočet proveden dle: [1]

Napínací síla:  $F_{nap} = 2000 \text{ N}$

Materiál pružiny: 12 090

Mez pevnosti:  $R_m = 830 \text{ MPa}$

Dovolené napětí v krutu:  $\tau_{dov} = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 830 \Rightarrow \tau_{dov} = 664 \text{ MPa}$

Modul pružnosti ve smyku:  $G_p = 78\,500 \text{ MPa}$

Poměr vinutí:  $i_v = \frac{D}{d} = \frac{70}{13} = 5,4 \Rightarrow i_v = 5$

Vnější průměr pružiny:  $D_{1p} = 70 \text{ mm}$

Délka pružiny v nezatíženém stavu:  $l_0 = 450 \text{ mm}$

Pracovní stlačení pružiny:  $s_p = 65 \text{ mm}$

Průměr drátu pružiny

$$d_p = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_{nap} \cdot D_{1p} \cdot K}{\pi \cdot \tau_{dov}}} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{2000 \cdot 0,070 \cdot 1,3}{\pi \cdot 664 \cdot 10^6}} \Rightarrow d_p = 0,008 \text{ m} = 8 \text{ mm} \quad (55)$$

$$K = \frac{i_v + 0,2}{i_v - 1} = \frac{5 + 0,2}{5 - 1} \Rightarrow K = 1,3 \quad (56)$$

Napětí v krutu při plně zatížené pružině

$$\tau_p = \frac{8 \cdot F_{nap} \cdot (D_{1p} - d_p) \cdot K}{\pi \cdot d_p^3} = \frac{8 \cdot 2000 \cdot (0,070 - 0,008) \cdot 1,3}{\pi \cdot 0,008^3} \Rightarrow \tau_p = 802,15 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 802,15 \text{ MPa} \quad (57)$$

Počet závitů pružiny

$$n_{pr} = \frac{G_p \cdot d_p^4 \cdot s_p}{8 \cdot F_{nap} \cdot (D_{1p} - d_p)^3} = \frac{78500 \cdot 10^6 \cdot 0,008^4 \cdot 0,065}{8 \cdot 2000 \cdot (0,070 - 0,008)^3} \Rightarrow n_{pr} = 5,481 \quad (58)$$

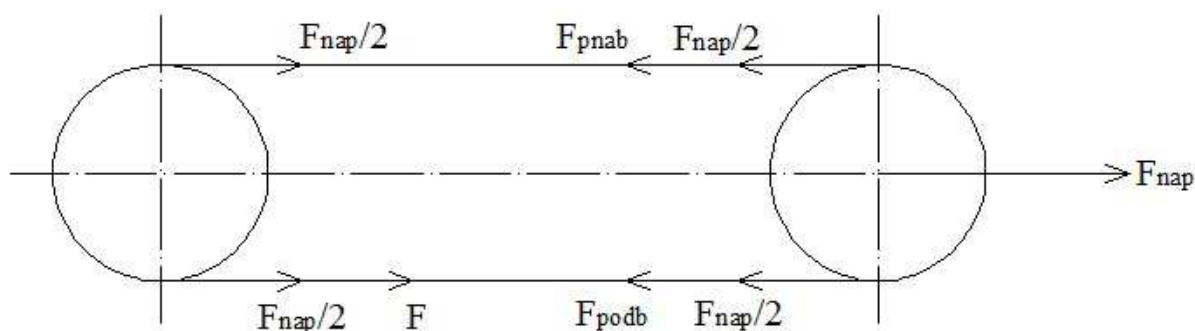
Minimální délka pružiny

$$l_{min} = l_0 - s_p \cdot \frac{\tau_{dov}}{\tau_p} = 450 - 65 \cdot \frac{664}{802,15} \Rightarrow l_{min} = 396,195 \text{ mm} \quad (59)$$

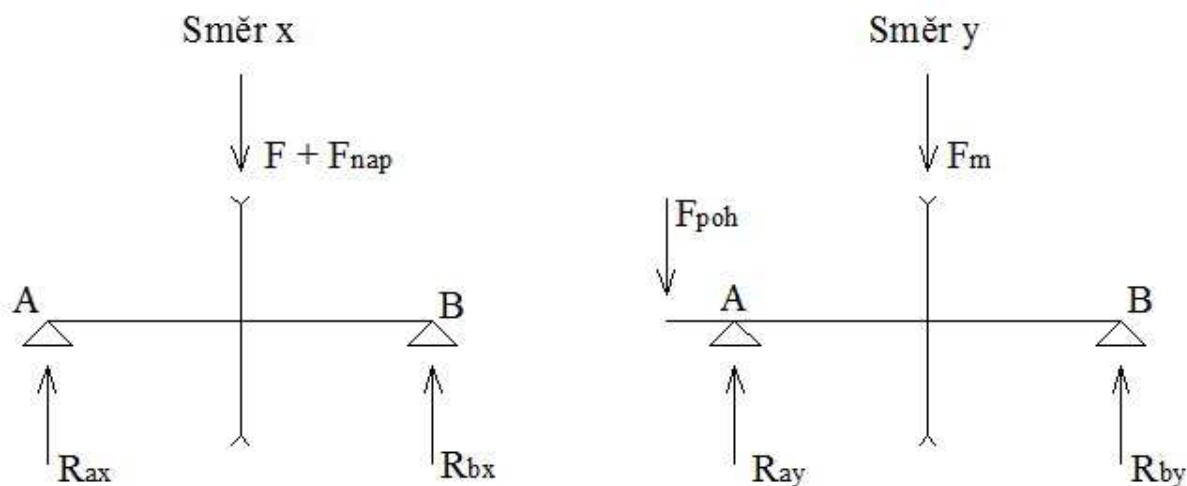
## 6.4 Kontrola hřídele poháněcí stanice

Rozměry stanoveny z programu Inventor 2012

Průměr hřídele:	$D_{poh} = 110 \text{ mm}$
Průměr při odečtení dvou drážek pro pero:	$D_{poh1} = 91,2 \text{ mm}$
Délka hřídele mezi ložisky:	$L_{poh1} = 300 \text{ mm}$
Poloviční délka převislého konce:	$L_{poh2} = 240 \text{ mm}$
Hmotnost hřídele:	$m_{poh} = 35 \text{ kg}$
Hmotnost ozubeného kola:	$m_k = 98 \text{ kg}$
Hmotnost pohonu:	$m_{poh1} = 468 \text{ kg}$
Kroutící moment na hřídeli:	$M_k = 1717,980 \text{ Nm}$







Obr. 31: Schéma výpočtu hřídele u poháněcí stanice

Výpočet reakcí ve směru x

Působící obvodová síla:  $F = 4984,863 \text{ N}$

Působící napínací síla:  $F_{nap} = 2000 \text{ N}$

$$\Sigma F_x = 0 \quad (60)$$

$$F + F_{nap} - R_{ax} - R_{bx} = 0$$

$$R_{bx} = -R_{ax} + F_{nap} + F = -3492,431 + 2000 + 4984,863 \Rightarrow R_{bx} = 3492,432 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{ib} = 0 \quad (61)$$

$$(F + F_{nap}) \cdot \frac{L_{poh1}}{2} - R_{ax} \cdot L_{poh1} = 0$$

$$R_{ax} = \frac{(F + F_{nap})}{2} = \frac{(4984,863 + 2000)}{2} \Rightarrow R_{ax} = 3492,431 \text{ N}$$

Výpočet reakcí ve směru y

Síla vyvolaná váhou hřídele včetně ozubeného kola

$$F_m = (m_{poh} + m_k) \cdot g = (35 + 98) \cdot 9,81 \Rightarrow F_m = 1\,304,73 \text{ N} \quad (62)$$

Síla vyvolaná tíhou pohonu

$$F_{mpoh} = m_{poh1} \cdot g = 468 \cdot 9,81 \Rightarrow F_{mpoh} = 4\,591,08 \text{ N} \quad (63)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad (64)$$

$$F_{mpoh} + F_m - R_{ay} - R_{by} = 0$$

$$R_{by} = R_{ay} + F_{mpoh} + F_m = -8916,309 + 4591,08 + 1304,08 \Rightarrow R_{by} = -3021,149 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{ib} = 0 \quad (65)$$

$$F_{mpoh} \cdot (L_{poh1} + L_{poh2}) + F_m \cdot \frac{L_{poh1}}{2} - R_{ax} \cdot L_{poh1} = 0$$

$$R_{ay} = \frac{[F_{mpoh} \cdot (L_{poh1} + L_{poh2}) + F_m \cdot \frac{L_{poh1}}{2}]}{L_{poh1}} = \frac{[4591,08 \cdot (0,3 + 0,24) + 1304,73 \cdot \frac{0,3}{2}]}{0,3}$$

$$\Rightarrow R_{ay} = 8\,916,309 \text{ N}$$

Kritický průřez hřídele se nachází pod ozubeným kolem.

Výpočet ohybového momentu ve směru x

$$M_{ox} = R_{ax} \cdot \frac{L_{poh1}}{2} = 3492,431 \cdot \frac{0,3}{2} \Rightarrow M_{ox} = 523,865 \text{ Nm} \quad (66)$$

Výpočet ohybového momentu ve směru y

$$M_{oy} = -R_{by} \cdot \frac{L_{poh1}}{2} = -3021,149 \cdot \frac{0,3}{2} \Rightarrow M_{oy} = -453,172 \text{ Nm} \quad (67)$$

Výpočet celkového ohybového momentu na hřídeli

$$M_{omax1} = \sqrt{M_{ox}^2 + M_{oy}^2} = \sqrt{523,865^2 + 453,172^2} \Rightarrow M_{omax1} = 692,732 \text{ Nm} \quad (68)$$

Výpočet maximálního ohybového napětí na hřídeli

$$\sigma_{o1} = \frac{32 \cdot M_{omax1}}{\pi \cdot D_{poh1}^3} = \frac{32 \cdot 692,732}{\pi \cdot 0,0912^3} \Rightarrow \sigma_{o1} = 9,306 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 9,306 \text{ Mpa} \quad (69)$$

Výpočet tečného napětí na hřídeli

$$\tau_{k1} = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot D_{poh1}^3} = \frac{16 \cdot 1717,908}{\pi \cdot 0,0912^3} \Rightarrow \tau_{k1} = 11,539 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 11,539 \text{ Mpa} \quad (70)$$

Výpočet redukovaného napětí dle HMM

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{o1}^2 + 3 \cdot \tau_{k1}^2} = \sqrt{9,306^2 + 3 \cdot 11,539^2} \Rightarrow \sigma_{red} = 22,046 \text{ Mpa} \quad (71)$$

## Únavová kontrola hřídele poháněcí stanice

Součinitel vlivu velikosti součásti

$$v_{\sigma} = v_{\sigma}^{\cdot} \cdot v_{\sigma}^{\cdot\cdot} = 0,85 \cdot 1 \Rightarrow v_{\sigma} = 0,85 \quad (72)$$

$$v_{\rho}^{\cdot} = 1 - \sqrt{0,02 \cdot \log \frac{D_{poh}}{d_0}} = 1 - \sqrt{0,02 \cdot \log \frac{110}{10}} \Rightarrow v_{\rho}^{\cdot} = 0,85 \quad (73)$$

Vrubový součinitel

$$\beta_{r1} = 2 + 0,05 \cdot \frac{b}{R} = 2 + 0,05 \cdot \frac{30}{1} \Rightarrow \beta_{r1} = 3,5 \quad (74)$$

b - šířka drážky, R - zaoblení drážky

Mez únavy

$$\sigma_{C,S} = \sigma_C \cdot \frac{v_{\sigma} \cdot \eta_P}{\beta_{\sigma}} = 239 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,72}{3,5} \Rightarrow \sigma_{C,S} = 41,791 \text{ MPa} \quad (75)$$

Ohybová bezpečnost

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{C,S}}{\sigma_{01}} = \frac{41,791}{9,306} \Rightarrow k_{\sigma} = 4,491 \quad (76)$$

Smyková bezpečnost

$$k_r = \frac{0,577 \cdot R_e}{\tau_{K1}} = \frac{0,577 \cdot 450}{11,539} \Rightarrow k_r = 22,502 \quad (77)$$

Výsledná bezpečnost

$$k = \frac{k_{\sigma} \cdot k_r}{\sqrt{k_{\sigma} \cdot k_r}} = \frac{4,491 \cdot 22,502}{\sqrt{4,491 \cdot 22,502}} \Rightarrow k = 10,053 \geq 1,3 - \text{vyhovuje} \quad (78)$$

## 6.5 Kontrola hřídele napínací stanice

Rozměry stanoveny z programu Inventor 2012

Průměr hřídele napínací stanice:  $D_{nap} = 70 \text{ mm}$

Průměr po odečtení drážky pro pero:  $D_{nap1} = 63,2 \text{ mm}$

Délka hřídele mezi ložisky:  $L_{nap1} = 300 \text{ mm}$

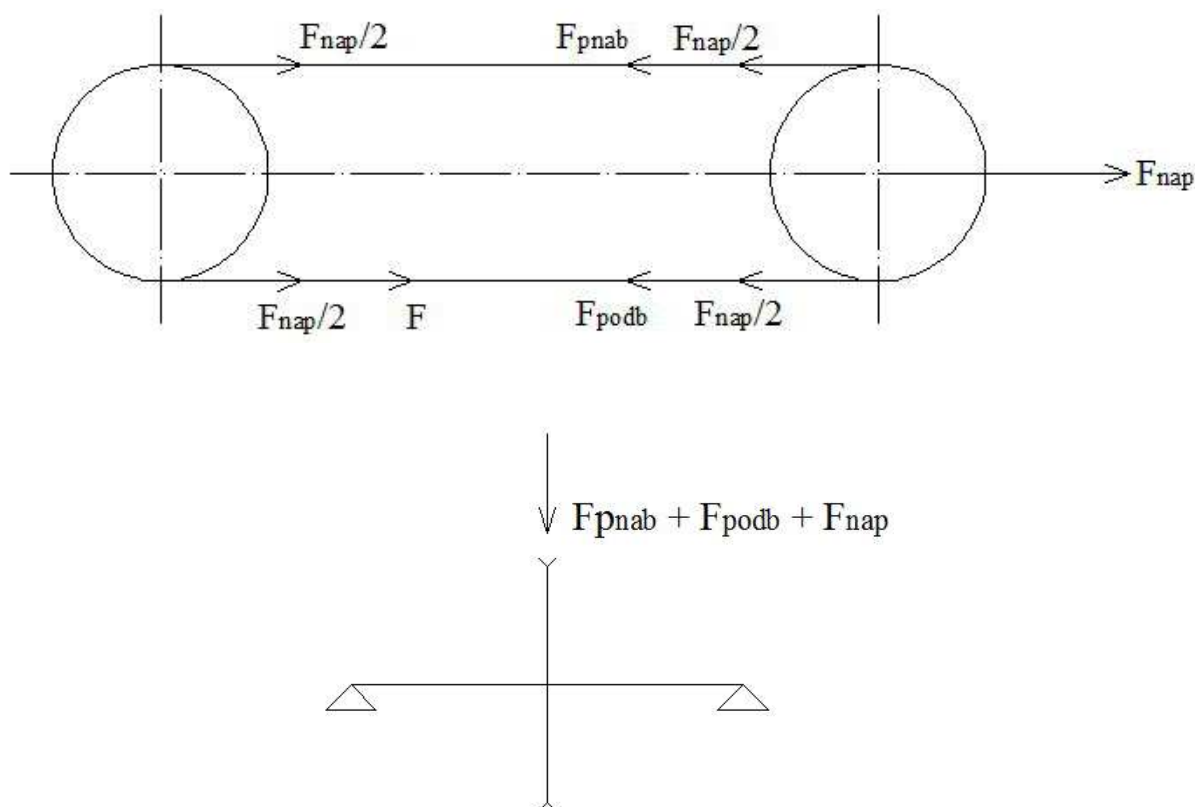
Nabíhající síla

$$F_{pnab} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 = 46,160 + 141,986 - 307,799 + 237,193 - 92,330$$

$$F_{pnab} = 25,21 \text{ N} \quad (79)$$

Odbíhající síla

$$F_{podb} = F_{pnab} = 25,21 \text{ N} \quad (80)$$



Obr. 32: Schéma výpočtu hřídele u napínací stanice

Výpočet celkového ohybového momentu

$$M_{\sigma max2} = \frac{(F_{pnab} + F_{podb} + F_{nap}) \cdot L_{nap1}}{4} = \frac{(25,21 + 25,21 + 2000) \cdot 0,3}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_{\sigma max2} = 153,523 \text{ Nm} \quad (81)$$

Výpočet maximálního ohybového napětí

$$\sigma_{\sigma2} = \frac{32 \cdot M_{\sigma max2}}{\pi \cdot D_{poh1}^3} = \frac{32 \cdot 153,523}{\pi \cdot 0,063^3} \Rightarrow \sigma_{\sigma2} = 6,257 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 6,257 \text{ MPa} \quad (82)$$

Materiály obou hřídelů musí být z nerezové oceli: 17024

## 6.6 Technická zpráva a bezpečnostní doporučení

### Technická zpráva

Parametry trubko-řetězového dopravníku	
Dopravované množství	16,4 t/hod
Výkon	1,5 kW
Rychlost	0,15 m·s <sup>-1</sup>
Celková délka	32,6 m
Výška	8 m
Průměr trubky	0,27 m
Průměr unášeče	0,24 m
Rozměry řetězu	90x18 mm
Dopravovaný materiál	odpadní kal

Tab. 6: Parametry trubko-řetězového dopravníku

Dopravník je určen pro dopravu odpadního kalu z čistírny odpadních vod do místa sušení které je umístěno 8 m nad jámou v níž je umístěna čistička. Zajišťuje bezpečnou a stabilní dopravu kalu od místa naložení až do místa vyložení. Po celé trase je zajištěna těsnost dopravní trasy za pomoci těsnění a konstrukce této trasy je z nerezové oceli což zajišťuje vysokou životnost celého dopravníku. Pohon je zajištěn motorem BN 90 LA a převodovkou A90 4\_209,0 S4 od firmy Bonfiglioli která dodala oba komponenty jako celek. Napínání je prováděno jednoduchým způsobem za pomoci stavěcího šroubu jenž zajišťuje pohodlné a rychlé napnutí celého řetězu.

### Bezpečnostní doporučení

Celá trasa dopravníku je zakrytovaná čím je zabráněno nechtěnému šáhnutí či vložení předmětu do dopravní trasy či poháněcí nebo napínací stanice. Veškeré údržbářské otvory jsou opatřeny kryty čím se minimalizuje možnost zranění či nechtěné manipulace. Tedy před jakoukoli manipulací a zásahem do dopravníku je nutno tento dopravník zastavit a pak začít s jeho manipulací odkrytováváním, odebráním některého s dílů trasy apod. Zastavení spočívá nejen ve vypnutí dopravníku, ale i v zabránění jeho opětovnému najetí při opravě či údržbě (aby jej někdo nechtěně nezapnul). To je zajištěno klíčem který se při údržbě vytáhne ze spínací skříňky čím se zabráni jakémukoli nechtěnému spuštění dopravníku.

## 7. Závěr

Zadaní diplomové práce spočívá v návrhu trubkového řetězového dopravníku, jenž je konstruován pro dopravu biohmoty.

V první části diplomové práce je základní popis tohoto typu dopravníku následován konkrétním popisem dopravníku s aplikací Schrage přímo od firmy Schrage Rohrkettensystem GmbH. Dále je zde uveden popis stejného typu dopravníku ale od jiných firem včetně dalších zařízení kterými se tyto firmy zabývají. V poslední teoretické části nalezneme informace o dopravovaném materiálu kterým je biohmota, konkrétně kaly. Následuje konstrukční návrh dopravníku s potřebnými pevnostními a technologickými výpočty nutnými k jeho úspěšné konstrukci včetně stručné technické zprávy. Závěrem je tato práce doplněna o výkresy řešeného dopravníku jimiž jsou výkresy: trubkového řetězového dopravníku, jeho poháněcí a vratné stanice a hřídele napínací stanice.

Výsledný dopravník se vyznačuje jednoduchou konstrukcí která zajišťuje poměrně vysokou bezpečnost díky kompletnímu zakrytování. Finančně je náročnější jelikož většina jeho částí je vyrobena z nerezové oceli kvůli přímému styku s vodou. Ovšem dokonale plní účel odvodu kalů z čistírny odpadních vod.

## 8. Seznam použitých pramenů

- [1] Leinveber J., Vávra P.: Strojnické tabulky - Druhé doplněné vydání, ALBRA, Praha, 2005
- [2] Krause F., Banse W., Schmolke S., Werner A.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Stauscheibenförderern (Rohrkettenförderern), Schüttgut 5, 1999
- [3] Technologie zpracování kalů, Přednášky, VŠCHT, Praha, ČR
- [4] Prospekty firmy SCHRAGE GmbH, Frisdeburg, DE
- [5] Prospekty firmy Bonfiglioli Group, Bolgona, IT
- [6] Prospekty firmy Ferros Praha s.r.o., Praha, ČR
- [7] Prospekty firmy Hapman, Kalamazoo, USA
- [8] Prospekty firmy Horstötter, Beckum, DE
- [9] Prospekty firmy Spiroflow Systems Inc., Lancashire, UK
- [10] Prospekty firmy Armat spol. s.r.o., Řetová, ČR
- [11] Prospekty firmy Tribon s.r.o., Brno, ČR
- [12] Prospekty firmy Jubo Jeseník s.r.o., Jeseník, ČR
- [13] Charakteristika čistírenských kalů  
<<http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/charakter.html>>
- [14] Martínek P.: Transportní zařízení, VŠB-TU, Ostrava, 1993

## 9. Přílohy

### Výkresová dokumentace

- I. VS001.....Trubkový-řetězový dopravník
- II. VS002.....Poháněcí stanice
- III. VS003.....Vratná-napínací stanice
- IV. VV001.....Hřídel



Na samotný závěr diplomové práce bych chtěl poděkovat prof. Ing. Jiřímu Zegzulkovi, CSc. za velmi cenné rady a připomínky při řešení.